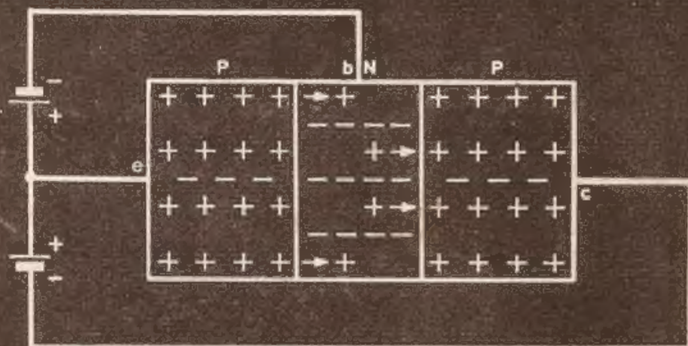




Colecţia radio şi televiziune ● 133

CLEMENT BROWN

TRANZISTOARE
Întrebări şi răspunsuri

Editura tehnică

Clement
Brown

r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv r.tv. r.tv. r.tv. r.tv.

TRANZISTOARE

Întrebări şi răspunsuri

Traducere din limba engleză

133



Editura tehnică
Bucureşti – 1976

Clement Brown

Qustions and Answers on Transistors

Butterworth & Co (Publishers) Ltd. 1969

Traducere: ing. ION MARGHESCU
ing. MARIN SAMPĂLEANU

Redactor: ing. CONSTANTIN MINEA
Tehnoredactor: VALERIU MORĂRESCU
Coperta: CONSTANTIN GULUȚA

Bun de tipar: 14.06.1976. Coli de tipar: 6,75.
Tiraj: 83 000+50 exemplare broșate.
C.Z.: 621.382.3.

Tiparul executat sub comanda nr. 165,
la Întreprinderea poligrafică „Crișana",
Oradea, str. Moscovei nr. 5.
Republica Socialistă România.



P r e f a ț ă

În cîțiva ani „tranzistorul" a devenit un termen foarte răspîndit dar adesea folosit în mod incorect în locul unui radio echipat cu tranzistoare. În prezent, tranzistorul ocupă o poziție dominantă în electronică, fiind folosit într-un număr vast de radioreceptoare și alte echipamente electronice domestice, calculatoare, instrumente, echipament industrial de comandă și control, echipament de prelucrarea datelor, echipament de comunicații aeronavale, lanțuri de telecomunicații și altele. De aici largul interes pentru acest dispozitiv de dimensiuni mici care a făcut totuși posibile toate aceste realizări. Scopul acestei cărți este de a explica trăsăturile fundamentale ale tranzistorului, cum funcționează și ce poate face și se trec în revistă multe din aplicațiile sale.

Tranzistorul este doar unul din multele dispozitive care utilizează caracteristicile electrice ale materialelor semiconductoare. Prin urmare, în afară de tranzistor, sînt descrise un număr de alte dispozitive, multe din ele folosite împreună cu tranzistoarele.

În cartea de față autorul a folosit multe informații procurate de la Brush Eléctrical Engineering Co. Ltd., Ever Ready Co. Ltd., Hird-Brown Ltd., I.B.M. United Kingdom Ltd., M.E.L. Equipment Co. Ltd., Mullard Ltd. și Newmarket Transitors Ltd., cărora autorul le exprimă mulțumiri.

Figurile 55—57 sînt reproduse prin amabilitatea lui Practical Eléctronics.

Cl. Brown

Conținut

1 Semiconductoarele

Ce este un tranzistor?

Este un dispozitiv care poate amplifica semnale electrice și îndeplinește și alte funcții în circuitele electrice. Deși nu este un înlocuitor direct al tubului electronic, în cele mai multe cazuri tranzistorul poate să preia toate funcțiile realizate anterior cu tuburi și de asemenea face posibile noi realizări pentru care tubul electronic nu poate fi luat în considerație.

Tranzistorul este realizat dintr-un material *semiconductor:* cel mai simplu și mai obișnuit tip de tranzitor folosit constă în principal dintr-un „sandvici" de trei straturi de astfel de material. Acest ansamblu este montat într-o capsulă prevăzută cu fire de conexiune, iar dispozitivul astfel realizat este foarte mic față de tubul electronic. O comparație a dimensiunilor lor este arătată în fig. 1.

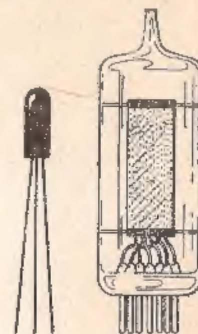


Fig. 1. Comparație între un tranzistor de semnal mic obișnuit și un tub electronic: aceste două dispozitive realizează funcții similare.

Semiconductoarele și proprietățile lor

Un număr mare de materiale, intermediare între conductoare și izolatoare, sînt reunite sub numele de semiconductoare. Cele mai multe metale conduc electricita-

tea rapid (instantaneu) şi aceasta se datoreşte prezenţei în interiorul lor a unui număr foarte mare de electroni. Aceştia (electronii liberi) sînt negativi din punct de vedere electric. Ei se mişcă sub influenţa unei tensiuni electrice şi joacă rolul de purtători de curent. Pe de altă parte, în izolator (spre exemplu mica, sau unul din materialele plastice folosit în electrotehnică) există puţini electroni liberi care să se mişte, şi prin urmare nu există curent — sau foarte puţin — cînd se aplică o tensiune electrică. Existenţa (posibilitatea de obţinere) electronilor liberi depinde de structura atomică a materialului, poziţia relativă a atomilor şi de temperatură. Foarte important este faptul că un număr mic de atomi „străini" pot influenţa proprietăţile electrice a unor materiale. Aceste materiale sînt semiconductoarele, dintre care cele mai importante, în fabricarea actuală a tranzistoarelor, sînt germaniul şi siliciul. În general, semiconductoarele conduc mult mai rapid cînd temperatura lor creşte; reciproc este adevărat numai pentru conductoarele bune, cum este cuprul.

Cum funcţionează germaniul ca un semiconductor?

Germaniul este un element metalic şi la fel ca toate semiconductoarele este un cristal, cu atomii aranjaţi într-un fel denumit reţea cristalină. Datorită acestei structuri materialul va putea fi tăiat mai uşor după unele direcţii de cît altele (întocmai ca diamantul ce se taie după anumite direcţii). În fig. 2 se arată o reţea perfectă desenată în două dimensiuni.

Atomul de germaniu are 32 de electroni. Patru dintre aceştia formează un inel mai îndepărtat în jurul atomului şi sînt la dispoziţia legăturilor de valenţă sau chimice. Aceşti electroni, numiţi *electroni de valenţă*, sînt

mai puţin strîns legaţi de atom decît ceilalţi electroni ai atomului. În structura cristalină a germaniului aceşti electroni de valenţă formează *legături covalente*, aşa cum se arată în fig. 2, cu electronii de valenţă ai atomului alăturat, fiecare atom fiind echidistant de cei patru atomi vecini şi fiecare electron de valenţă al unui atom formînd o pereche — legătură covalentă — cu un electron de valenţă din atomul vecin.

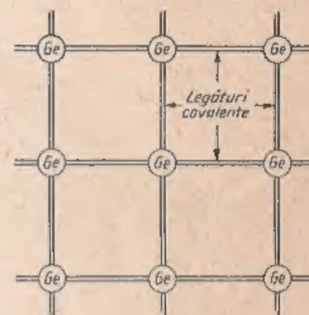


Fig. 2. Structura reţelei cristaline a germaniului, la temperatura zero absolut, în care se evidenţiază legăturile covalente (prin doi electroni) formate între atomii vecini.

Cînd un electron devine liber prin ruperea legăturii covalente şi prin urmare poartă o sarcină electrică, şi de asemenea cînd un atom de germaniu din reţeaua cristalină este înlocuit cu un atom din alt element (acest fapt este cunoscut sub numele de *dopare*) în reţeaua cristalină apar imperfecţiuni). Într-un cristal perfect la temperatura de zero absolut (—273°C) toate legăturile covalente sînt complete, dar cînd temperatura creşte unii electroni din legăturile covalente capătă o energie suficientă pentru a părăsi legătura şi a deveni liberi.

Locurile vacante rămase în legătură sînt numite *goluri*. Această situaţie este arătată în fig. 3. Un electron liber devine un purtător de sarcină electrică negativă, în timp ce un gol devine un purtător de sarcină pozitivă.

Germaniul pur are un număr de goluri egal cu cel al electronilor liberi, dar se pot adăuga impurităţi prin dopare în scopul modificării acestei situaţii. Prin controlul dopării se poate asigura o conductivitate mai mare în timp ce reţeaua este păstrată.

Dacă un atom cu cinci electroni de valență (spre exemplu antimoniu) se introduce în rețea, se obține un electron liber (vezi fig. 4). Chiar la temperatura obișnuită a camerei acest electron are suficientă energie să se deplaseze prin rețeaua de germaniu ca un purtător

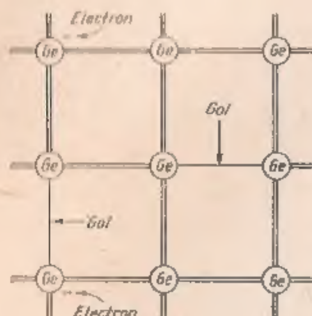


Fig. 3. Rețeaua cristalină a germaniului la temperatura camerei, în care se observă prezența electronilor liberi și a golurilor la temperaturi normale.

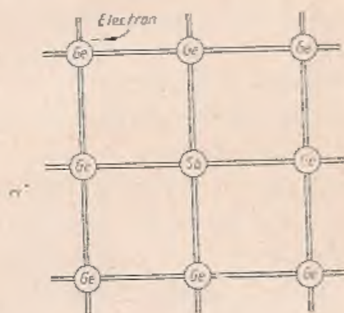


Fig. 4. Rețeaua cristalină a germaniului în care este cuprins un atom de antimoniu (Sb) cu electronul liber donat materialului de către atomul donor de antimoniu în momentul formării legăturilor covalente cu atomii de germaniu vecini.

de sarcină negativă. Atomul de impurități este numit *donor:* el donează un electron pentru formarea curentului. Se spune că impuritatea se numește de tip *n* (*n* se folosește pentru negativ), iar germaniul dopat cu atomi donori este deci cunoscut ca germaniu de tip *n*.

În rețeaua cristalină se poate introduce un atom cu trei electroni de valență (spre exemplu indiu) și în acest caz apare un gol așa cum se arată în fig. 5.

Acest gol va captura un electron ce trece prin apropierea sa și aceasta va conduce la formarea unui alt gol

care va fi întîlnit de către alt electron. Astfel există un proces continuu de mișcare a purtătorilor de sarcină pozitivă (a golurilor). Atomii de impurități trivalenți sînt numiți *acceptori;* ei acceptă un electron care umple golul. Impuritatea este numită de tip *p* (*p* pentru pozitiv), și în acest caz germaniul dopat cu atomi acceptori este denumit germaniu de tip *p*.

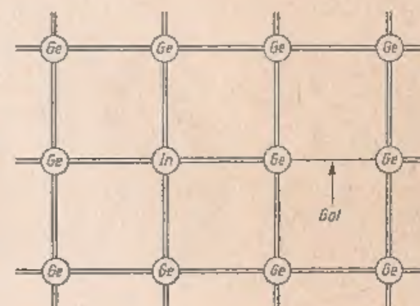


Fig. 5. Rețeaua cristalină a germaniului în care este cuprins un atom de indiu (In) cu golul creat în rețea de atomul trivalent acceptor de indiu.

În final, pe lîngă acești purtători de sarcini obținuți prin introducerea controlată de impurități, se pot obține electroni liberi prin ionizare — spre exemplu prin efectul temperaturii sau tensiunii.

Ce este o diodă redresoare?

Dacă se aplică o tensiune alternativă unei joncțiuni formată de un semiconductor de tip *n* și un semiconductor de tip *p*, bariera de tensiune prezentată de joncțiune curgerii de purtători de sarcină dintr-o parte în alta, va fi alternativ îngustă sau lărgită. Cu alte cuvinte, rezistența joncțiunii opusă curgerii curentului depinde de polaritatea și valoarea tensiunii ce i se aplică. Se obține astfel o acțiune de redresare, iar o diodă bazată pe această acțiune este numită diodă cu joncțiune redresoare. Notați că joncțiunea reprezintă o zonă de tranziție de la semiconductorul de tip *p* la semiconductorul de tip *n* în interiorul unei structuri cristaline continue.

În cîteva cazuri este folosită de asemenea dioda semiconductoare cu contact punctiform. Purtătorii de sarcină dintr-un semiconductor tind să se concentreze la suprafață: o zonă de suprafață a electronilor și o zonă alăturată de atomi donori formează a barieră asemenea celei a joncțiunii menționate în paragraful precedent. Dacă se aplică o tensiune alternativă între suprafață și oricare alt punct are loc fenomenul de redresare. Un terminal este incorporat în cristalul de germaniu iar celălalt, ca o „mustață de pisică", este asamblat pe suprafață.

Contactul punctiform are efectul unei concentrări a cîmpului electric astfel că are loc o creștere a curentului electric.

Ce se înțelege prin polarizare directă și inversă?

Dacă se aplică o tensiune continuă de-a lungul unei joncțiuni *p-n* (vezi fig. 6, *a*) cu negativul pe secțiunea *p* și pozitivul pe secțiunea *n*, se spune că joncțiunea este

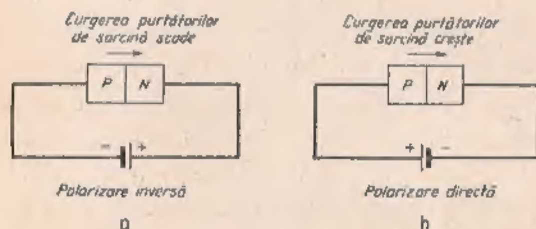


Fig. 6. Polarizarea inversă *a* și directă *b* a unei joncțiuni semiconductoare *pn*.

polarizată invers, trecerea purtătorilor de sarcină prin joncțiune fiind întîrziată. Pe de altă parte dacă se inversează polaritățile tensiunii cu negativul pe secțiunea *n* și pozitivul pe secțiunea *p* (vezi fig. 6, *b*) se spune că joncțiunea este *polarizată direct*, trecerea purtătorilor de sarcină prin joncțiune fiind crescută.

Ce înseamnă expresia „solid-state"?

Solid-state este termenul ce se aplică diodelor, tranzistoarelor și celorlalte dispozitive semiconductoare precum și tuturor echipamentelor realizate cu ele. Un dispozitiv în stare solidă — așa cum se explică în acest capitol — depinde de interacțiunea legăturilor electronice din structurile moleculare, care de asemenea sînt solide. Prin contrast tubul electronic este un dispozitiv termo-ionic în care electronii liberi se mișcă prin vid sau printr-un gaz.

Cum se obține germaniul?

Germaniul se obține pe două căi cu totul distincte. Una este obținerea din cantitatea de praf ce rezultă prin arderea cărbunelui Northumbrian, care conține 2% germaniu. Arderea cărbunelui reprezintă prima etapă a extracției, iar tirajul de praf conține cam 2 procente de germaniu. Minereurile de cupru din Congo și minereurile de zinc din Africa de sud-vest formează cealaltă sursă principală. Materialul extras astfel se trimite sub formă de bioxid de germaniu pentru fabricarea tranzistoarelor.

Se folosesc și alte materiale semiconductoare pentru fabricarea tranzistoarelor?

Siliciul capătă o importanță crescută în fabricarea diodelor semiconductoare, tranzistoarelor și altor dispozitive semiconductoare. Este unul din cele mai răspîndite

elemente, dar cere o purificare mai mare decît germaniul pentru a putea fi folosit în fabricarea dispozitivelor semiconductoare. Ca și germaniul, este o substanță cristalină și are patru electroni de valență.

Care este principalul avantaj al siliciului?

Așa cum s-a menționat deja, numărul golurilor și electronilor liberi va crește, într-un material semiconductor datorită temperaturii, temperatura asigurînd suficientă energie pentru a permite unor electroni să părăsească legăturile covalente și să devină liberi. Golurile și electronii liberi care iau naștere provoacă creșterea curenților nedoriți care se suprapun peste curentul dorit ce trece prin materialul semiconductor. Deoarece „groapa de energie“ — energia necesară unui electron pentru a-și părăsi legătura și a deveni liber — este mai mare la siliciu decît la germaniu, rezultă că funcționarea dispozitivelor semiconductoare cu siliciu este mai puțin afectată de temperatură decît cele cu germaniu.

Un alt avantaj al siliciului îl constituie ușurința cu care se oxidează suprafața sa formînd un strat izolator de bioxid de siliciu. Acest fenomen este de o importanță majoră în fabricarea unor dispozitive semiconductoare, cuprinzînd circuitele integrate.

Germaniul are vreun avantaj particular?

Germaniul este afectat de temperatură mai mult decît siliciul datorită groapei de energie mai mică, iar această groapă de energie mai mică înseamnă că golurile au o mobilitate mai mare în germaniu. Datorită acestui fenomen dispozitivele semiconductoare cu germaniu pot

lucra la frecvențe mai mari decît cele cu siliciu. De asemenea aceasta înseamnă că ele pot fi polarizate cu tensiuni mai mici.

Ce se înțelege prin purtători „majoritari“ și „minoritari“?

Așa cum am văzut, prin materialul semiconductor pot trece două tipuri de curenți. Unul cauzat de mișcarea electronilor, care transportă o sarcină electrică negativă (ei curg către borna pozitivă a bateriei) și rezultă un curent negativ și în al doilea rînd mișcarea golurilor, care reprezintă un curent pozitiv. Prin dopare, se poate crea un exces de electroni față de goluri sau invers. În cazul unui material de tip *p*, dopat cu impurități acceptoare, există un exces de goluri, cari se numesc în acest caz purtători majoritari. În cazul unui material de tip *n*, dopat cu impurități donoare, există un exces de electroni care în această situație se numesc purtători majoritari.

Cînd se polarizează direct o joncțiune *pn* purtătorii majoritari vor difuza prin joncțiune. Odată trecuți de joncțiune ei vor deveni purtători minoritari, formînd un curent de purtători minoritari. Acțiunea dispozitivelor semiconductoare se bazează în principal pe efectele polarizării joncțiunilor *pn* controlînd în acest mod curenții ce trec prin ele.

Ce se înțelege prin regiunea de sărăcire a joncțiunii?

Cînd se formează joncțiunea *pn* apare inițial o curgere a purtătorilor prin joncțiune — electronii din regiunea *n* sînt atrași prin joncțiune de sarcina pozitivă reprezentată de golurile din regiunea *p* și invers. Acest fenomen

are ca rezultat, aşa cum se observă din fig. 7, apariţia unei regiuni de fiecare parte a joncţiunii relativ săracă în purtători de sarcină. Această regiune se numeşte de sărăcire sau de golire. Odată formată, regiunea de sărăcire acţionează împotriva difuziei ulterioare întrucît cîmpul electric iniţial nu mai atrage golurile şi electronii prin joncţiune. Polarizarea directă reduce sau neutralizează regiunea de golire iar polarizarea inversă o măreşte.

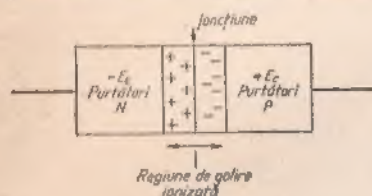


Fig. 7. Regiunea de golire a joncţiunii unui dispozitiv semiconductor *pn*. În regiunea de golire sînt prezenţi puţini purtători de sarcină electrică.

Care este curba caracteristică a unei joncţiuni *pn*?

O curbă caracteristică reprezintă caracteristicile electrice ale unei joncţiuni *pn*. În fig. 8 se arată un exemplu. După cum se poate vedea, creşterea tensiunii directe — polarizare directă — are ca rezultat o creştere de curent. Polarizarea inversă nu provoacă apariţia curentului pînă nu se atinge un punct critic, tensiunea de străpungere zener, cînd apare brusc un curent de valoare ridicată care poate distruge joncţiunea. Înainte de atingerea acestui punct, prin joncţiune trece un curent invers de valoare mică numit curent rezidual invers. Acesta este determinat de ionizare — efectul temperaturii. Curba punctată indică schimbarea ce are loc în caracteristici — creşterea curentului rezidual şi a curentului direct — determinată de creşterea temperaturii.

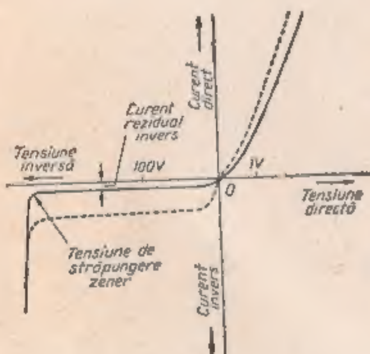


Fig. 8. Curbă caracteristică reprezentînd caracteristicile electrice ale unei joncţiuni *pn*. Curba punctată ilustrează efectul creşterii temperaturii asupra caracteristicilor. Curentul rezidual invers este determinat în principal de golurile şi electronii liberi din regiunea de golire formaţi prin ionizare.

Ce se înţelege prin tranzistoare bipolare şi unipolare?

Tranzistoarele a căror funcţionare depinde de goluri şi electroni aşa cum s-a arătat mai sus, se numesc tranzistoare bipolare deoarece folosesc purtători de sarcină de două polarităţi. Unele tipuri de tranzistoare mai speciale — tranzistoare cu efect de cîmp — funcţionează folosind numai purtători majoritari şi în consecinţă se numesc tranzistoare unipolare.

2 Tranzistorul

Prin ce diferă tranzistorul de diodă?

Tranzistorul este un dispozitiv mult mai complex, el presupune două joncţiuni aranjate spate în spate (vezi fig. 9). Primele tranzistoare au fost de construcţie cu

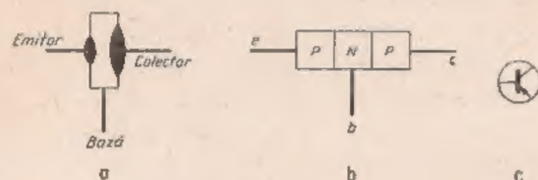


Fig. 9. O formă simplă a unui tranzistor cu joncţiune *a*, diagramă bloc echivalentă *b* şi simbol de circuit *c*.

contact punctiform, dar acestea au fost înlocuite de către tranzistoarele cu joncţiuni, care vor fi principalul tip ce va fi descris aici.

Tranzistorul este o invenţie recentă?

Detectoarele cu cristal se foloseau înainte ca tuburile electronice să fie inventate (1904), şi este bine cunoscut că galena şi alte cristale erau folosite de către experimentatori în primele zile ale radioului. Totuşi, dezvoltările viitoare ale unor astfel de dispozitive au trebuit să aştepte mulţi ani.

În ultima vreme activitatea a fost reluată, cu contribuţia specialiştilor lucrînd în multe domenii ştiinţifice. Printre ei erau trei cercetători ştiinţifici la Bell Telephone Laboratories din S.U.A., care în 1948 au inventat un dispozitiv de cristal cu trei electrozi, care putea să amplifice şi să detecteze semnale electrice. Asemenea detectoarelor timpurii, noul dispozitiv folosea „mustăţile pisicii" în rol de conexiuni — două în acest caz. Numele „tranzistor" a fost decis după studiul acţiunii sale, şi derivă din două cuvinte: transfer şi rezistor.

Descrieţi funcţionarea tranzistorului

După cum s-a arătat deja, tranzistorul cu joncţiuni constă din trei straturi de germaniu sau siliciu: acestea pot forma o structură *p-n-p* sau *n-p-n*. Există trei conexiuni — la emitor, la bază şi la colector.

Regiunea bazei (tipul *n* în structura *p-n-p*) este foarte subţire şi uşor dopată din care se obţin electroni ca pur-

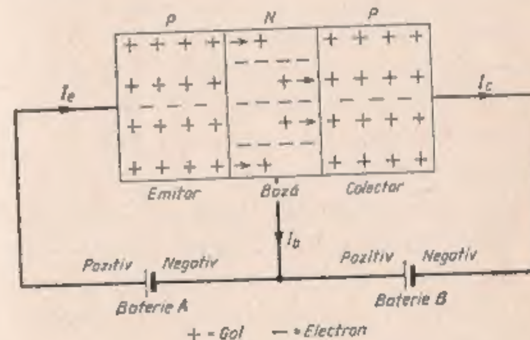


Fig. 10. Tranzistor *pnp* polarizat.

tători de sarcină. Regiunile laterale sînt puternic dopate pentru a obţine goluri pozitive ca purtători de sarcină. Structura *p-n-p* este arătată în fig. 10.

Luînd regiunea bazei ca punct de referință, joncțiunea p-n poate fi numită joncțiunea emitorului, și joncțiunea n-p joncțiunea colectorului. În fig. 10 joncțiunea emitorului este polarizată de către bateria *A* în sens direct (emitorul pozitiv față de bază) și joncțiunea colectorului este polarizată invers (colectorul negativ față de bază) de către bateria *B*. Regiunea *p* este mult mai puternic dopată decît regiunea *n*: astfel că cea mai mare parte a curentului care trece prin joncțiunea emitorului se datorează golurilor din regiunea *p*.

Corespunzător, există un curent de electroni ce trece prin joncțiune de la bază la emitor, dar acesta este mic din cauza puternicii dopări menționate mai sus. Polarizarea directă a joncțiunii emitorului înseamnă că golurile vor fi injectate din emitor în regiunea bazei. Dacă se aplică colectorului o polarizare negativă mare — de la bateria *B* — cea mai mare parte a golurilor vor fi atrase prin joncțiunea colectorului și prin regiunea colectorului către conexiunea externă a colectorului. Aici golurile vor reprezenta o sarcină pozitivă care atrage electronii din sursa de alimentare în colector. Ceea ce se întîmplă prin urmare, este faptul că golurile trec prin tranzistor într-o direcție în timp ce electronii trec în sens opus, astfel că se stabilește o trecere de curent prin tranzistor.

La trecere prin regiunea bazei, o parte dintre goluri — 2 procente reprezintă o cifră tipică — se vor recombina cu electronii liberi din regiunea bazei, reprezentînd un curent al bazei (I_b). Aceasta înseamnă că trecerea electronilor în colector va fi cu 2 procente mai mic decît numărul de goluri ce trec prin joncțiunea emitorului.

Un punct important care trebuie notat totuși, este că 98 de procente de goluri traversează joncțiunea de la un

circuit cu rezistență mică (circuitul de polarizare directă emitor-bază) la un circuit de rezistență mare (circuitul de polarizare inversă colector-bază) — de aici termenul de transfer rezistor, de la care provine cuvîntul tranzistor. Astfel, ca deși curentul de colector este mai mic decît cel de la emitor, amplificarea de putere a fost realizată (deoarece puterea$=I^2 \times R$).

Tranzistorul n-p-n este fundamental diferit?

Diferența constă în faptul că sandviciul semiconductor este inversat așa cum se arată în fig. 11 și polaritatile tensiunilor ce se aplică sînt de asemenea inversate. Electronii, în locul golurilor, sînt injectați de emitor și colectați la colector, trecînd apoi prin circuitul extern. Caracteristicile electrice nu sînt prea diferite față de cele ale tranzistorului *p-n-p* descris mai devreme.



Fig. 11. Diagrama *bloc a* și simbolul de circuit al unui tranzistor *npn*.

Cum poate fi făcut un tranzistor să amplifice curent?

Structura descrisă acum — numită configurație cu bază comună deoarece baza este comună circuitului de emitor și circuitului de colector — ne procură, așa cum am văzut, o amplificare de putere. De asemenea se produce o amplificare de tensiune dacă în circuitul de ieșire se introduce o rezistență de sarcină convenabilă. Cîștigul de curent, totuși, este mai mic decît unitatea.

Să presupunem că polarizarea este rearanjată așa cum se arată în fig. 12, așa că emitorul este o legătura comună.

În acest caz semnalul de intrare constă într-un curent mic ce trece în regiunea bazei. La bază se aplică un curent mic, în timp ce curentul la colector va fi relativ mare. Deoarece într-un dispozitiv electronic cîștigul este

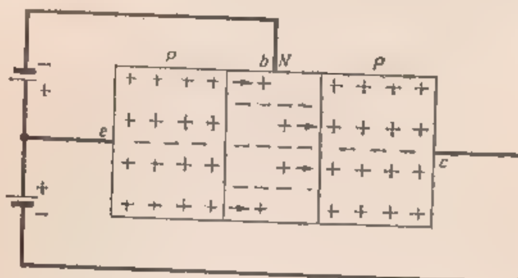


Fig. 12. Tranzistor în conexiunea cu emitorul comun.

raportul mărimii de intrare față de mărimea de ieșire prin această configurație s-a realizat un cîștig de curent. Pentru a desemna cîștigul de curent pentru configurația cu emitor comun se folosește simbolul β sau h_{fe}.

Care sînt tipurile principale de tranzistoare bipolare, și prin ce diferă ele?

Tipurile de tranzistoare cele mai uzuale sînt tranzistoarele aliate, difuzate și tranzistoarele planare cu siliciu. Toate constă în fapt din două joncțiuni *p-n* aranjate într-o formație *p-n-p* sau *n-p-n*. Diferențele dintre ele constă în diferitele tehnici de fabricare folosite și care conduc la caracteristici electrice diferite.

Tranzistorul aliat este simplu, ieftin și prin urmare larg folosit. El este folosit cu o funcționare convenabilă numai la frecvențe joase. Tranzistorul difuzat aliat a realizat performanțe bune la frecvențe înalte și este larg

folosit în radio și televiziune în etajele RF și IF. Tranzistorul planar cu siliciu este mult mai complex dar are performanțe superioare. Cu toate că acum devine utilizabil în echipamente electronice domestice, principalul său cîmp de aplicații la modă este în calculatoare și electronică industrială.

Cum se prepară germaniul pentru folosire?

Așa cum s-a stabilit mai devreme, procesul de fabricație începe cu bioxidul de germaniu. El este topit pentru a forma un lingou brut. Germaniul, deși foarte pur chimic, nu este de o puritate standard extrem de înaltă cerută pentru fabricarea tranzistorului: întreaga activitate de fabricare se sprijină pe controlul strict al impurităților, pentru efectul lor asupra conductivității germaniului.

Pentru reducerea impurităților în raport de una la 10^{10} (o parte la 10 mii de milioane) se folosește o metodă numită purificare zonală. Această metodă depinde de faptul că impuritățile se concentrează cel mai rapid în germaniul topit. O zonă topită este trecută progresiv printr-o bară de germaniu, ducînd impuritățile către un capăt, care după solidificare poate fi separată și aruncată. În practică germaniul este așezat într-o cutie de grafit și trasă încet printr-o serie de bobine de încălzire în radiofrecvență într-o atmosferă inertă. Totuși, o cantitate de impurități (antimoniu de exemplu) controlată, trebuie adăugată pentru a obține proprietățile electrice cerute de tranzistor. Adaosul introdus pentru a obține o concentrație de o parte la 10^8, este nivelat: adică, distribuția de adaos de-a lungul cristalului de germaniu este făcută uniformă.

Nivelarea este ceva similar purificării zonale. Un procesul este în mod normal combinat cu recristalizarea în scopul convertirii lingoului de germaniu într-un monocristal mare care va avea proprietățile electrice cerute. Aceasta se realizează prin asocierea unui lingou a unei seminţe de cristal cu o anumită orientare a reţelei: în starea topită germaniul creşte pe sămînţă şi la aceleaşi caracteristici.

Cristalul de tip *n* ce rezultă este extrem de dur şi se foloseşte un cuţit de diamant pentru a-l tăia în bucăţi. Acestea sînt şlefuite, polizate şi apoi tăiate încă odată pentru a face pastilele necesare pentru fabricarea tranzistorului. Ele pot fi tot atît de mici ca un patrat cu latura de cîţiva milimetri şi de o zecime de milimetru grosime.

Cum este făcut tranzistorul aliat?

Pastilele mai sus amintite pot forma baza tranzistorului *p-n-p*. Sînt necesare apoi regiunile de colector şi emitor din material de tip *p*, iar acestea pot fi obţinute prin topirea unui material de tip *p* (indiu) pe fiecare parte a pastilei de bază. Indiul este mai întîi format într-o pastilă sferică, cea pentru colector fiind de cîteva ori mai mare decît cea pentru emitor. Fiecare pastilă, este unită la bază (întîi colectorul apoi emitorul) printr-un proces de aliere executat la o temperatură înaltă. Astfel indiul pătrunde în germaniu şi formează un aliaj care este tocmai germaniul de tip *p*. O secţiune simplificată a unui tranzistor cu *joncţiune aliată* se arată în figura 13.

Apoi urmează să se sudeze *conexiunile* (firele de legătură) şi să se monteze ansamblul pe un suport de sticlă. Unităţile astfel formate sînt spălate în apă ne-

ionizată şi suprafeţele lor se oxidează într-un cuptor. Etapa finală este incapsularea: capsula este din sticlă opacă, plastic sau metal conţinînd o umplutură inertă care asigură protecţia împotriva umidităţii şi ajută să se disipe căldura.

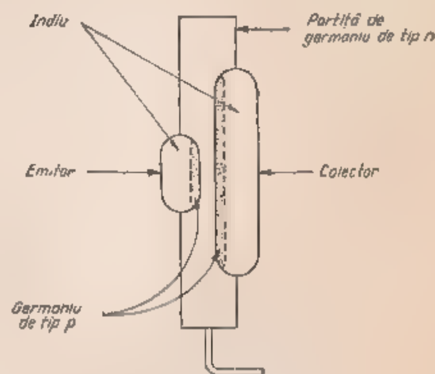


Fig. 13. Secţiune (simplificată) într-un tranzistor cu joncţiune aliat.

Prin ce diferă difuzia de aliere?

În procesul de aliere impuritatea este topită la temperatură înaltă şi dizolvă suprafaţa pastilei de bază de sub ea, astfel că la răcire şi recristalizare, a pătruns şi a schimbat polarizitatea regiunii de dedesupt. În procesul de difuzie pastila de bază este crescută la o temperatură apropiată de punctul său de topire într-o atmosferă gazoasă, conţinînd substanţa impurificatoare cerută: în aceste condiţii atomii de impurităţi difuzează în pastila de bază.

Descrieţi tranzistorul aliat-difuzat

Pentru cerinţe particulare — spre exemplu, lucrul la puteri mari sau funcţionarea în două regimuri în circuite speciale — s-au inventat alte tipuri de construcţie şi fabricare. Un tip important este procesul de difuzie aliată, care dă posibilitatea tranzistoarelor să funcţioneze la frecvenţe foarte înalte. Cu alte cuvinte, este îmbunătăţit răspunsul la frecvenţe înalte.

Performanța unui tranzistor la frecvențe înalte depinde de timpul necesar pentru ca purtătorii de curent să se miște de la emitor la colector și de grosimea regiunii de bază. Prin procesul de aliere deja descris condițiile practice de fabricare conduc la o frecvență de lucru maximă de aproximativ 15 MHz. Pentru multe scopuri este necesară o frecvență de tăiere mult mai mare și este realizată cu ajutorul tranzistorului difuzat aliat. Pe suprafața unei pastile de tip *p* ce se obține prin tehnicile menționate anterior, și printr-un proces de pre-difuzie se formează un strat de material de tip *n*, așa cum se arată în figura 14, *a*.

Două pastile sînt plasate pe suprafață: pastila marcată prin litera *B*, care formează legătura la bază, con-

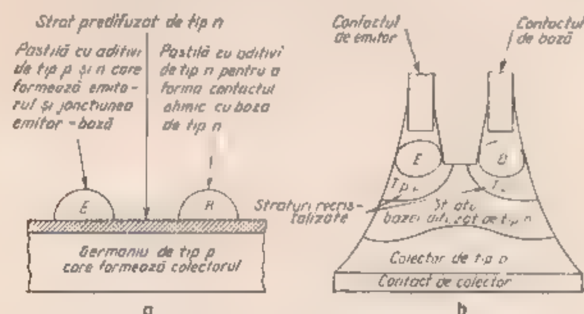


Fig. 14. Construcția unui tranzistor difuzat-aliat. Componentele principale înainte de încălzire *a* și secțiune transversală după difuzie-aliere și corodare *b*.

ține un material aditiv de tip *n*, în timp ce pastila *E* (emitorul) conține aditivi de tip *p* și *n*. Acest ansamblu este încălzit și aditivii pătrund în pastila de germaniu.

Aditivul de tip *p* al pastilei *E* difuzează încet și pătrunde foarte puțin în pastilă, dar aditivii de tip *n* din ambele pastile difuzează rapid, formînd straturi de tip *n* în pastilă.

Acest strat, care formează baza tranzistorului, poate fi de o grosime mai mică de două sutimi de milimetru.

Cînd se răcește ansamblul, din pastile se recristalizează un strat de germaniu: stratul de sub pastila *E* este în special de tip *p*, deoarece aditivul de tip *p* este mai solubil în germaniul recristalizat. Acest strat formează o joncțiune *p-n* cu stratul de bază difuzat, care în schimb formează o joncțiune *n-p* cu pastila colectorului. Stratul recristalizat de sub pastila *B* este de tip *n* și formează o joncțiune neredresoare cu stratul difuzat al bazei de tip *n*.

Structura este apoi mascată în jurul suprafețelor celor două pastile, și suprafața rămasă este corodată pentru a obține o configurație finală așa cum se arată în fig. 14, *b*.

Ce este un tranzistor planar epitaxial?

În figura 15 se arată configurația unui tranzistor, epitaxial planar. Ambele joncțiuni, colector-bază și emitor-bază, sînt formate prin difuzie. Regiunile emitorului și bazei sînt difuzate prin ferestre gravate într-un strat de suprafață oxidat al pastilei suport suprafețele reoxidîndu-se după fiecare proces. Suprafața oxidată — bioxidul de siliciu — protejează joncțiunile, conducînd la performanțe îmbunătățite printre care și un curent rezidual de colector foarte mic și foarte stabil.

Ca și la alte tranzistoare difuzate, stratul de bază poate fi făcută extrem de subțire, astfel că este posibilă funcționarea la frecvențe foarte mari, peste cîteva mii de MHz.

Prin formarea tranzistorului, așa cum s-a arătat, pe o pastilă compusă avînd o rezistență scăzută a substra-

tului, rezistența internă a regiunii de colector și deci căderea de tensiune pe ea este mult redusă.

Epitaxia se referă la modul cum se formează colectorul pe un substrat de rezistență scăzută. Aceasta constă în creșterea unei pelicule subțiri de semiconductor pe o pastilă de monocristal din același material: dacă orientarea cristalului este continuată din pastilă în strat, se spune că este epitaxială — orientarea cristalului este menținută în aceleași axe.

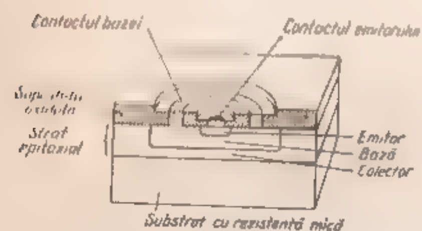


Fig. 15. Trăsăturile esențiale ale unui tranzistor cu siliciu planar epitaxial în timpul fabricației. Diferitele regiuni sînt difuzate prin „ferestre" corodate în suprafața oxidului, suprafața fiind reoxidată după fiecare proces. Tipul prezentat este un tranzistor de audio frecvență de semnal mic.

Procesul de fabricare a tranzistorului epitaxial planar este mult mai complicată decît pentru tipurile simple de tranzistoare dar se obține un tranzistor cu caracteristice extrem de bune. Performanțele excepționale la frecvențe înalte le face convenabile în folosirea pentru circuite de impulsuri, de exemplu în calculatoare, sau alte aplicații de prelucrare a datelor.

Procesul planar este baza dezvoltării multor circuite monolitice.

Diferă tranzistorul de putere de cele descrise anterior?

În afară de faptul că este mult mai mare, tranzistorul de putere este identic în aspectele esențiale cu celelalte tipuri descrise pînă acum. Totuși acesta este închis într-o capsulă metalică, iar în timpul utilizării, este astfel montat încît să fie în contact (printr-o șaibă izolatoare de mică) cu sașiul ajutînd astfel la disiparea temperaturii considerabile produsă de colector. Dacă nu se ia în considerație această precorecție tranzistorul se va deteriora în mod ireparabil. În fig. 16 se reprezintă o secțiune simplificată printr-un tranzistor de putere. Acesta este un tip de tranzistor ce se folosește în etajul de ieșire al unui radioreceptor.

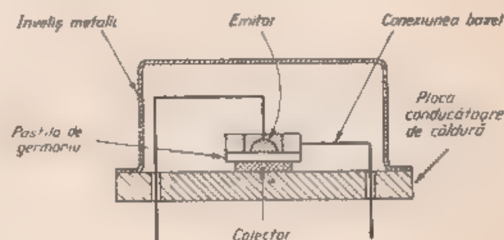


Fig. 16. Secțiune simplificată printr-un tranzistor de putere.

Ce este un tranzistor cu efect de cîmp?

Acesta este un tranzistor unipolar, funcționarea sa depinzînd numai de purtători majoritari. Există două tipuri principale, tranzistorul cu efect de cîmp cu poartă joncțiune și tranzistor cu efect de cîmp cu poartă izolată. În fig. 17, *a* se reprezintă construcția unui tranzistor cu efect de cîmp cu joncțiune ce are la bază un substrat de siliciu de tip *n*. Dacă se conectează o sursă externă de tensiune între sursă și drenă, prin tranzistor trece curent de la sursă la drenă prin canal. Dacă între sursă și poartă se aplică o tensiune va rezulta în canal un cîmp electric care va împiedica trecerea curentului

(de aici numele de tranzistor cu efect de cîmp). Curentul ce trece prin tranzistor este controlat deci de variația tensiunii aplicate pe poartă. Tranzistorul din figură este un tranzistor cu efect de cîmp cu canal *p*: versiunea cu canal *n* poate fi realizată în mod identic prin difuzia sursei, drenei și canalului de tip *n* în substratul de tip *p*.

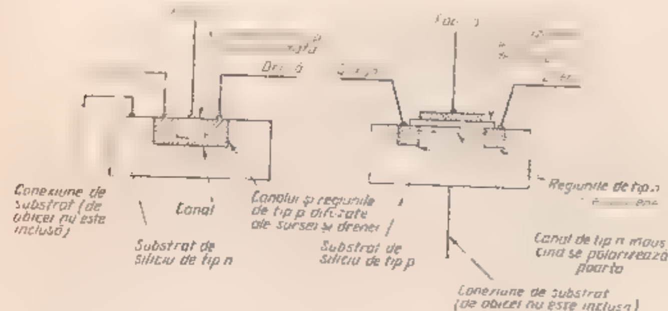


Fig. 17. Două forme ale tranzistorului cu efect de cîmp:
a — tranzistor cu efect de cîmp cu joncțiune cu canal *n*;
b — tranzistor cu efect de cîmp cu poartă izolată ăcu canal *n*.

Dacă poarta este separată de canal printr-un strat izolator, funcționarea dispozitivului se desfășoară similar cu a unui capacitor, capacitatea fiind formată de stratul izolator ca dielectric iar poarta și canalul ca „armături". Se obține astfel tranzistorul cu efect de cîmp cu poartă izolată, la care controlul trecerii curentului prin canal este realizat de tensiunea aplicată porții. În figura 17, *b* se arată o structură de tranzistor cu efect de cîmp cu poartă izolată mult mai elaborată. După cum se poate vedea, aici există două joncțiuni *pn*, regiunile sursei și drenei, fiind separate*. Astfel, prin dispozitiv

* Uneori între drenă și sursă se formează un canal foarte puțin dopat, numit „canal inițial" astfel că la aplicarea unei tensiuni între drenă și sursă va lua naștere un curent de valoare mică.

nu va trece curent la conectarea unei tensiuni între sursă și drenă deoarece joncțiunile sînt spate în spate. Să vedem ce se întîmplă cînd, la configurația din figura 17, *b* cu substratul de tip *p* și regiunile sursei și drenei de tip *n*, se aplică o tensiune pozitivă pe poartă. Electronii liberi, deoarece sarcinile de semn contrar se atrag, se vor aduna chiar sub stratul izolator. În acest mod sub stratul izolator apare o regiune cu sarcină negativă iar acest canal de tip *n* indus permite curentului să curgă de la sursă la drenă. Variind tensiunea dintre poartă și sursă se va realiza controlul asupra curentului ce trece prin dispozitiv. În figura 17, *b* se arată un tranzistor cu canal *n* indus dar este posibilă și versiunea cu canal *p*. Acest tip de tranzistor cu efect de cîmp se mai numește tranzistor metal oxid semiconductor datorită porții metalice, stratului de oxid izolator și a substratului semiconductor.

Cînd curentul ce trece prin tranzistorul cu efect de cîmp crește odată cu creșterea tensiunii porții, ca în structura descrisă mai sus, acest mod de lucru se numește funcționare cu îmbogățire de purtători. Cînd micșorarea tensiunii porții provoacă micșorarea curentului ce trece prin dispozitiv ca în tranzistorul cu efect de cîmp cu joncțiune sau tipul mai simplu cu poartă izolată, acest mod se numește funcționare cu sărăcire de purtători.

Diferența importantă dintre tranzistorul cu efect de cîmp și tipurile de tranzistoare bipolare este că electrodul de comandă al tranzistorului cu efect de cîmp — poarta — nu absoarbe curent, dispozitivul fiind controlat prin tensiunea aplicată electrodului. Aceasta înseamnă că impedanța de intrare a tranzistoarelor cu efect de cîmp este mult mai mare decît a tranzistoarelor

bipolare, ceea ce reprezintă un avantaj considerabil în unele aplicaţii.

Întrucît stratul izolator al unui tranzistor cu efect de cîmp metal-oxid-semiconductor poate fi uşor deteriorat datorită supratensiunilor acesta este alimentat printr-un colier ce scurtcircuitează electrozii poartă şi sursă şi acesta ar putea fi lăsat în această poziţie ori de cîte ori dispozitivul nu se află în circuit.

3 Circuite cu tranzistoare

Cum se conectează tranzistorul într-un circuit?

Deoarece tranzistorul este un dispozitiv cu trei electrozi, el poate fi conectat în trei moduri, sau conexiuni cum se mai numesc. Acestea sînt conexiunile cu bază comună, cu emitor comun şi cu colector comun şi sînt



Fig. 18. Cele trei conexiuni principale ale tranzistorului.

reprezentate în figura 18. Uneori în loc de „comun" se foloseşte termenul „masă" întrucît terminalul comun va fi conectat la masă sau la şasiu.

Caracteristicile principale ale acestor conexiuni sînt prezentate în tabelul 1. Valorile exacte depind de tipul de tranzistor şi de natura sarcinii aplicate.

Conexiunea cu emitorul comun este cea mai frecvent folosită în amplificatoare. În această conexiune se poate obţine o amplificare de 70 cu un tranzistor cu joncţiuni. Conexiunea cu colectorul comun este interesantă prin aceea că, datorită impedanţei de intrare mare şi impedanţei de ieşire mică, acest montaj corespunde repetorului pe catod folosit în amplificatoarele cu tuburi.

Tabelul 1

Caracteristicile conexiunilor tranzistoarelor

Caracteristici	Emitorul comun	Baza comună	Colectorul comun
Impedanță de intrare	medie	mică	mare
Impedanță de ieșire	medie	mare	mică
Amplificarea de curent	mare	mai mică decît 1	mare
Amplificarea de tensiune	mare	mare	mai mică decît 1
Defazaj	inversare cu 180°	nu	nu

Această conexiune se folosește ca etaj de cuplare între tranzistoarele montate în conexiunea cu emitorul comun. Conexiunea cu baza comună își are cele mai multe aplicații în radiofrecvență.

Ce este defazajul?

S-a arătat în tabelul 1 că, în conexiunile cu baza comună și colectorul comun, nu există defazaje. Cu alte cuvinte, semnalele de la intrare și ieșire sînt în același

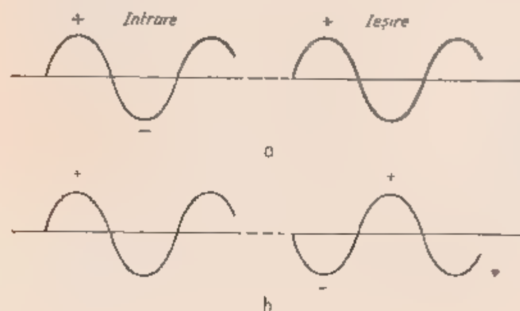


Fig. 19. Semnale de intrare și ieșire în fază *a* și inverse în fază *b*: semnalul de ieșire este defazat cu 180° față de semnalul de intrare.

pas: ele devin ambele pozitive sau negative în același moment (vezi fig. 19). În conexiunea cu emitorul comun, semnalul de ieșire devine pozitiv în timp ce semnalul de intrare devine negativ. Apare astfel o inversare a fazei, iar cele două semnale sînt defazate cu 180°. Aceasta este ca și cum ai da înapoi semnalul cu o jumătate de ciclu (180°). De notat că în această figură nu s-a ținut seama de amplitudinea semnalelor: unul ar putea fi mai mare decît celălalt. Inversarea fazei are o importanță deosebită în circuitele de impulsuri.

Cum se polarizează un tranzistor?

Am observat din figurile 10 și 12 că pentru polarizarea tranzistoarelor în conexiunile cu baza comună și emitorul comun se folosesc două baterii. Folosirea celor două baterii nu este practică. În figura 20, *a* se arată o metodă simplă de polarizare a etajului cu emitorul comun folosind o singură baterie. În acest montaj va

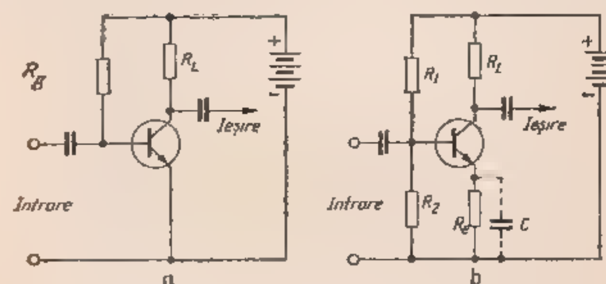


Fig. 20. Metode de polarizare a tranzistoarelor. În aceste exemple sînt prezentate tranzistoare *npn*.

curge un curent mic de la baterie în circuitul bazei ca rezultat al conectării rezistorului de polarizare R_B între bază și borna pozitivă a bateriei.

Acest curent va pozitiva baza în raport cu emitorul, situaţie pe care o dorim, într-o configuraţie *pnp*, pentru a polariza direct joncţiunea emitorului.

În practică se folosesc în general montaje mult mai complicate în scopul eliminării creşterii curentului datorită efectelor de temperatură ce apar în materialul semiconductor. Dacă un tranzistor se încălzeşte în timpul funcţionării, curentul ce trece prin el va creşte, un curent mai mare înseamnă o creştere suplimentară a temperaturii şi aşa mai departe, astfel ca poate apărea condiţia numită ambalare termică dacă nu se iau precauţii speciale.

În figura 20, *b* se arată căile uzuale de prevenire a acestei situaţii. Pentru a realiza o polarizare stabilă a bazei se foloseşte un divizor de tensiune (R_1 şi R_2), iar în emitor se introduce rezistorul R_e de valoare mică. Efectul lui R_e este acela că la creşterea curentului de emitor datorită temperaturii, tensiunea bazei faţă de emitor (pentru o structură *npn*) scade, prin urmare micşorînd curentul bazei şi al colectorului. Aşa cum se arată, pentru prevenirea reacţiei negative se introduce un capacitor *C* de decuplare pe R_e.

Descrierea unui circuit amplificator cu două etaje

În fig. 21 se reprezintă un amplificator cu două etaje simplu care foloseşte două tranzistoare *pnp*. În acest exemplu se foloseşte o altă metodă de stabilizare a polarizării deşi mai puţin eficace decît cea prezentată în fig. 20, *b*. Această metodă constă în conectarea rezistoarelor de polarizare (R_1 şi R_3) direct la colectoarele tranzistorului şi nu la sursa de tensiune. Principiul de funcţionare este similar: cînd curentul colectorului creşte,

datorită creşterii temperaturii, tensiunea de colector va scădea. Acest fapt va modifica polarizarea bazei, tensiunea pe bază scade, şi deci curentul de colector va scădea şi el. Pentru cuplarea celor două etaje se foloseşte un grup rezistenţă-capacitate, tensiunea de ieşire a primului tranzistor se găseşte pe rezistorul R_2 şi se aplică pe baza celui de al doilea tranzistor prin intermediul capacitorului *C*. Datorită valorilor relativ mari, ale capacitoarelor de cuplare folosite în circuitele cu tranzistoare, adesea se utilizează capacitoare electrolitice, aşa cum s-a arătat în figură. Este important să se conecteze cu polaritatea corect.

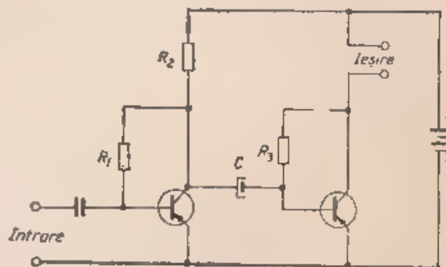


Fig. 21. Amplificator tranzistorizat simplu cu două etaje. În circuitele cu tranzistoare este foarte important să se respecte polaritatea capacitoarelor electrolitice. În general la tranzistoarele *pnp* montate în cascadă colectorul primului tranzistor va fi mai negativ decît baza celui de al doilea, astfel încît capacitorul electrolitic se conectează cum se arată aici.

Uneori se folosesc montaje complementare. Un amplificator în cascadă cu două etaje poate folosi caracteristicile complementare ale tranzistoarelor *pnp* şi *npn* în scopul realizării unei cuplări directe dintre cele două etaje. În exemplul prezentat în fig. 22, polarizarea primului etaj este realizată prin divi-

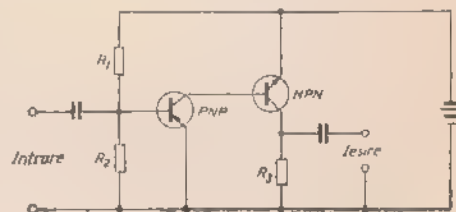


Fig. 22. Circuit complementar folosind tranzistoare *pnp* şi *npn* cu cuplaj direct între etaje.

zorul de tensiune R_1 și R_2. Circuitul emitor-bază al celui de al doilea etaj acționează ca o sarcină pentru primul etaj, iar curentul de colector al primului tranzistor devine curent de polarizare a bazei pentru al doilea tranzistor. R_3 reprezintă sarcina celui de al doilea etaj. Un astfel de montaj, folosind foarte puține componente, are un cîștig mare și un răspuns la frecvențe joase bun (nu există capacitor de cuplare prin care semnalul trebuie să treacă). Semnalele de intrare și ieșire sînt în fază.

Cum se folosește tranzistorul în circuitele oscilatoare?

În fig. 23 se arată un oscilator RF simplu. Baza tranzistorului este polarizată prin divizorul de tensiune R_1, R_2 încît curentul circulă prin tranzistorul a cărui sarcină este circuitul acordat L_1, C_1. O parte din semnalul de ieșire este aplicat înapoi pe bază prin înfășurarea de cuplaj L_2, rezultînd oscilații întreținute dacă înfășurarea este corect montată pentru a asigura o reacție pozitivă.

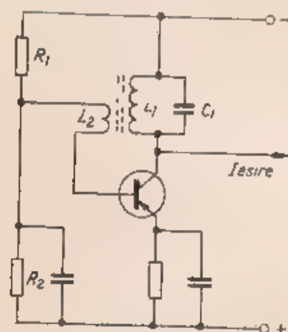


Fig. 23. Oscilator rf cu tranzistor avînd ca sarcină un circuit acordat (L_1, C_1). Remarcăm că semnalul de intrare (la bornele lui R_2) este aici în serie cu curentul de polarizare (via R_1) din R_2 care este decuplat.

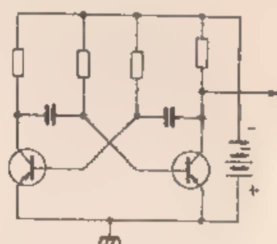


Fig. 24. Circuit multivibrator cu tranzistoare. Cele două tranzistoare sînt cuplate în cruciș prin grupul capacitate rezistență.

În fig. 24, se reprezintă una din alte cîteva posibilități de realizare a circuitelor oscilatoare. Dacă cele două etaje cu emitorul comun sînt conectate așa cum se arată în figură între semnalele de intrare și ieșire apare un defazaj de 360°, adică cele două semnale sînt în fază. Circuitul va oscila dacă semnalul de ieșire este aplicat la intrare. Un astfel de oscilator va produce la ieșire un semnal complex, depinzînd de caracteristicile rețelelor rezistență-capacitate folosite, iar forma de undă este bogată în armonice. Pentru acest montaj se folosește adesea numele de multivibrator. El are aplicații în circuitele bază de timp, calculatoare, echipamente de comunicații și instrumente.

4 Tranzistoarele în radioreceptoare

r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv.

Cît de mult sînt folosite tranzistoarele în radio?

În largul domeniu al radiocomunicaţiilor există un număr de echipamente, care încă nu pot fi realizate în întregime cu tranzistoare sau îmbunătăţite prin folosirea lor. În alte echipamente tranzistoarele, de obicei folosite pe cablaje imprimate şi miniaturizate, aduc beneficii şi avantaje pe care tuburile nu le-ar putea oferi. Dispozitivele semiconductoare sînt folosite în televiziune, magnetofoane şi o varietate largă de echipamente audio.

Receptoarele tranzistorizate portabile, alimentate la baterii şi adesea suficient de mici pentru a intra într-un buzunar, sînt în momentul de faţă ceva foarte obişnuit. În momentul de faţă tranzistoarele sînt folosite în toate tipurile de receptoare radio, inclusiv picupurile, alimentate la reţea şi cu puteri de ieşiri relativ ridicate. Tranzistoarele sînt folosite în toate etajele: amplificatoarele de frecvenţă intermediară, detectoare, mixere şi etajele de ieşire. Tranzistoarele sînt folosite atît în receptoarele MA cît şi MF dar în această lucrare ne vom referi numai la receptoarele MA.

Descrierea funcţiei de amplificare a unui tranzistor într-un receptor radio

Condiţiile de bază pentru amplificare au fost deja descrise. În continuare se va considera amplificatorul din

receptoarele radio şi apoi, echipamentele de reproducere a sunetului mult mai specializate.

În etajele finale ale receptorului se pune problema obţinerii unei puteri maxime cu minimum de distorsiuni ale semnalului, sau pentru orice eventualitate cu un nivel de distorsiuni care va fi acceptabil pentru ascultător. Pentru aceasta sînt posibile cîteva moduri sau clase de funcţionare ale etajelor amplificatoare.

Care sînt aceste clase de funcţionare?

Pentru etajele de ieşire ale receptoarelor sau echipamentelor audio mai specializate sînt importante trei clase de funcţionare; sau, pentrtu a fi mai precişi, două clase principale, clasa A şi clasa B, şi o clasă intermediară numită clasă AB. Această clasificare este determinată de polarizarea tranzistorului.

În fig. 25 se reprezintă un etaj de ieşire cu tranzistor în clasă A. Pentru a obţine cel mai bun randament semnalul din sarcină şi de la intrare trebuie să fie astfel aranjate ca tensiunea pe colector şi curentul să varieze între zero şi dublul valorii în absenţa semnalului. *Valoarea medie* a curentului de colector este aceeaşi indiferent dacă se aplică sau nu semnal: astfel puterea absorbită de la sursa de alimentare rămîne constantă. Aceasta înseamnă că puterea disipată în tranzistor se reduce cînd se aplică semnal. Randamentul teoretic al etajului clasă A este de 50% (adică, sub condiţiile ideale); în practică este ceva mai mic.

Sarcină

Intrare

Fig. 25. Etaj de ieşire clasă A cu tranzistoare.

În funcţionarea în clasă B curentul de repaus — existent în absenţa semnalului — este foarte mic, dar curentul creşte pe măsură ce creşte amplitudinea semnalului aplicat. Deoarece consumul de la sursa de alimentare depinde de semnal sînt posibile realizarea unor economii. Randamentul teoretic este de 78,5%. Forma de undă a semnalului de ieşire a unui etaj clasă B reprezintă o serie de semialternanţe ale semnalului de intrare şi deci este necesară utilizarea a două tranzistoare în montaj push-pull în scopul obţinerii unei forme de undă utilizabile (fig. 26). Acest montaj oferă o putere de ieşire relativ ridicată, dar necesită o grijă deosebită în proiectare pentru a elimina distorsiunile.

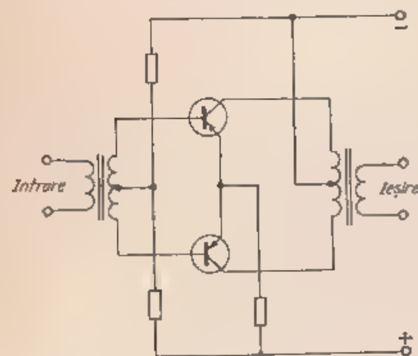


Fig. 26. Etaj de ieşire push-pull clasă B.

Clasa AB de funcţionare este intermediară între clasa A şi clasa B. În absenţa semnalului de intrare prin etaj curge un curent oarecare dar acesta este mai mic decît în etajul clasă A. În general etajele clasă AB sau clasă B, precum şi variante ale acestora, sînt folosite acolo unde se folosesc semnale de intrare mari, îndeosebi în etajele de putere.

Etajele clasă A sînt folosite în multe moduri acolo unde se folosesc semnale mici dar este necesar un cîştig considerabil.

Cît este de mare puterea ce se obţine din etajele finale cu tranzistoare?

Deşi etajele de ieşire în push-pull din radioreceptoarele portabile şi picupuri au o putere de un watt sau mai mică, în radioreceptoarele mai scumpe realizarea unor puteri de 10 W a devenit ceva obişnuit. În amplificatoarele audio relativ mai costisitoare cu ajutorul unor circuite speciale se ating puteri pînă la 50 W: această putere este realizabilă pe fiecare canal al unui sistem stereofonic. Succesele în această direcţie depind de depăşirea dificultăţilor de fabricaţie şi realizarea unor tranzistoare de putere mare suficient de ieftine.

Ce tipuri de oscilatoare se folosesc?

S-a vorbit deja despre un oscilator de radiofrecvenţă şi despre un multivibrator simplu. În toate oscilatoarele există două părţi principale: una este formată de componentele ce determină frecvenţa de oscilaţie iar cealaltă asigură amplificarea, cu ajutorul unui tranzistor, pentru a menţine oscilaţiile. În cele mai simple oscilatoare, numite în general oscilatoare de relaxare, tranzistorul ce asigură amplificarea este în fapt un comutator, deoarece tranzistorul trece din stările de conducţie în cele de ne-conducţie (adică, de tăiere). Frecvenţa de lucru este determinată de reţele simple, să zicem din rezistenţe şi capacităţi.

Alte tipuri de oscilatoare includ circuitele Hartley şi Colpitts, care produc la ieşire un semnal sinusoidal. Ele vor fi familiare acelora care au avut ocazia să studieze radioreceptoarele cu tuburi electronice. Într-adevăr, circuitele cu tranzistoare sînt principial similare celor cu

tuburi. Un exemplu care să ilustreze acest fapt este reprezentat în fig. 27. În astfel de circuite frecvenţa de rezonanţă deobicei este determinată de inductanţa L şi capacitatea C din circuitul de reacţie conectat, în fig. 27, între colectorul şi baza tranzistorului.

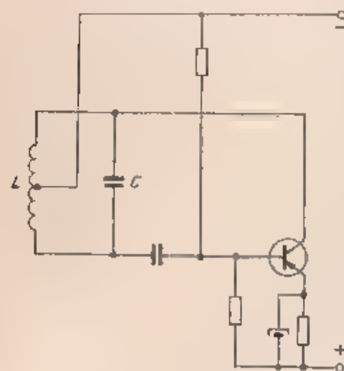


Fig. 27. Oscilator Hartley cu tranzistoare.

O oscilaţie generată în acest circuit se va amortiza, urmînd o lege exponenţială, datorită efectului rezistenţei. Această pierdere de putere trebuie compensată dacă dorim menţinerea oscilaţiilor, iar sursa de putere în acest caz este etajul amplificator cu tranzistor.

Cum se foloseşte tranzistorul într-un etaj detector?

În cazurile cele mai simple în etajul detector se foloseşte o diodă, mai degrabă decît un tranzistor. El are o sarcină rezistivă posibil potenţiometrul de volum al receptorului, şi deci semnalul detectat este aplicat etajelor amplificatoare de audiofrecvenţă. Adesea, totuşi, pentru detecţie se foloseşte tranzistorul: aceasta se realizează polarizînd astfel tranzistorul încît să se poată folosi porţiunea neliniară a caracteristicii de colector care asigură deci acţiunea de redresare.

Ce este C.A.A. şi cum se realizează?

Controlul automat al amplificării reprezintă o tehnică de reglare. Scopul său este să prevină supraîncărcarea

ultimelor etaje ale receptorului ce ar putea să se producă la recepţia semnalelor puternice. Pe de altă parte, cînd apare fenomenul de fading al semnalelor (de obicei în receptoarele MA) CAA ajută la minimizarea efectului asupra condiţiilor de audiţie.

În acest scop, din detector se culege o tensiune de control care se aplică unui etaj FI, adesea în serie cu tensiunea de polarizare bază-emitor a primului tranzistor FI. Tensiune de control este proporţională cu amplitudinea purtătoarei de la detector şi controlează amplificarea etajelor cărora se aplică. Circuitul este astfel aranjat încît semnalele mici (să zicem cele de fading) permit o amplificare ridicată în etajul FI, în timp ce semnalele puternice reduc din amplificare. Pentru eliminarea semnalelor de frecvenţă radio sau audio din linia CAA este necesară includerea unor componente de filtrare.

Descrieţi etajul amplificator de frecvenţă intermediară

Aşa cum se arată în fig. 28, etajul de frecvenţă intermediară este foarte asemănător cu etajele amplificatoare simple de care ne-am ocupat, doar că acestea au la intrare şi ieşire transformatoare, care sînt acordate pe frecvenţa intermediară, în mod obişnuit 460 KHz la receptoarele MA. Aceste transformatoare determină banda de frecvenţă în care etajul asigură amplificarea admiţînd trecerea numai pentru semnalele cu frecvenţa cuprinsă în interiorul acestei benzi.

La frecvenţe radio trebuie luată în consideraţie reacţia internă proprie a tranzistorului, deoarece aceasta determină amplificarea ce poate fi obţinută fără distorsiune sau instabilităţi. Printr-o proiectare adecvată se adaugă componente externe care introduc o reacţie opusă

ca fază, care echilibrează reacția proprie tranzistorului Această metodă, numită unilateralizare, implică utilizarea de rezistențe și capacități. Un sistem mai simplu, care utilizează numai capacități, se numește neutrodinare. La tipurile de tranzistoare ce se folosesc în acest moment în amplificatoarele FI și RF reacția internă este neglijabilă.

În fig. 29 se reprezintă un etaj complet al unui amplificator de frecvență intermediară echipat cu un tranzistor *OC* 45. Componentele de neutralizare sînt R_f și C_f. Ar fi de remarcat că lărgimea de bandă și selectivitatea unui amplificator FI pot fi îmbunătățite dacă cele două înfășurări ale transformatoarelor sînt acordate.

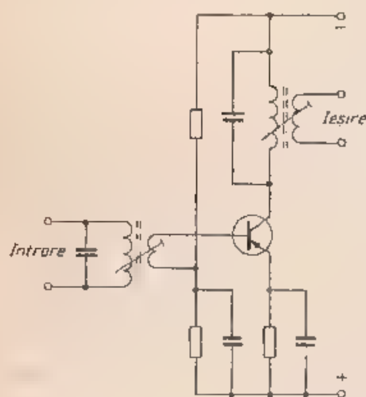


Fig. 28. Etaj amplificator pentru frecvențe intermediare.

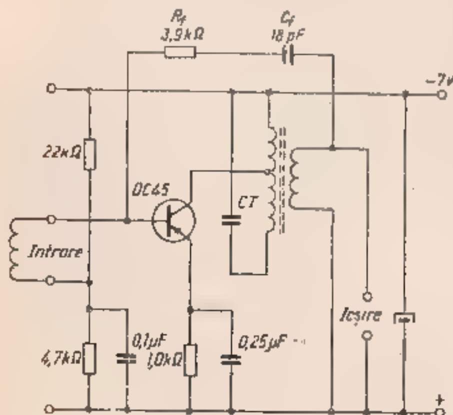


Fig 29. Amplificator de FI cu un etaj. *CT* reprezintă capacitorul de acord; R_f și C_f sînt componentele de reacție, asigurînd unilateralizarea. Unilateralizarea este rareori necesară dacă se folosesc tranzistoare de frecvență înaltă cum sînt cele difuzat aliate.

Explicați cum se folosește tranzistorul în etajul mixer

Rolul schimbătorului de frecvență sau al etajului mixer este evident același ca și în receptoarele cu tuburi Cu ajutorul unui proces de heterodinare diferitele frecvențe ale semnalelor recepționate sînt convertite într-o singură frecvență fixă, de obicei 460 kHz, ce se aplică la intrarea amplificatorului FI. Informația audio este transportată de semnalul de radiofrecvență ca o modulație de amplitudine în recepția MA (sau a frecvenței în recepția MF) și aceasta este transferată purtătoarei FI. Frecvența intermediară este situată deasupra benzii audio și prin urmare poate fi numită frecvență supersonică: aceasta combinată cu cuvîntul heterodină, cu mulți ani în urmă a format noul cuvînt „superheterodină“, care se aplică azi receptoarelor. Receptorul „acordat pe frecvența radio“ este astăzi demodat.

Funcțiile de mixare și oscilație trebuie combinate într-un mod oarecare într-un singur etaj în receptor. Deși se pot folosi două tranzistoare cu componentele asociate, este absolut normal ca un singur tranzistor să facă tot ceea ce este necesar.

O proiectare atentă înlătură diferența dintre performațe și desigur se reduce prețul, factor de mare importanță în producția radioreceptoarelor în serie de masă.

Un astfel de etaj se numește mixer auto-oscilant iar în fig. 30, sînt reprezentate trăsăturile sale esențiale. Circuitul din bază este acordat pentru a recepționa semnalul de radiofrecvență de la intrare în timp ce circuitul de ieșire este acordat pe frecvența intermediară a semnalului de ieșire. Circuitul de reacție LC dintre colector și emitor realizează oscilația iar frecvența intermediară

reprezintă diferența dintre frecvența radio de la intrare și frecvența etajului auto-oscilant.

În fig. 31, se reprezintă un etaj mixer auto-oscilant cu tranzistor OC 44.

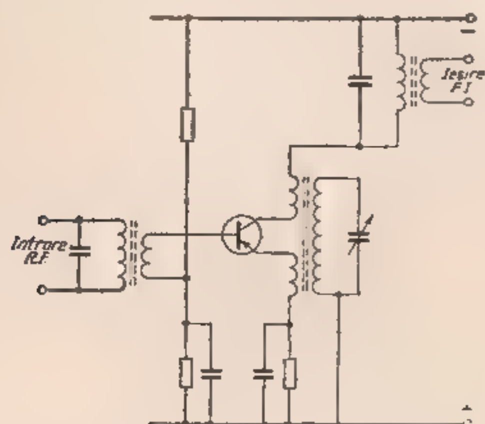


Fig. 30. Etaj mixer-oscilator. Acest circuit este un mixer aditiv.

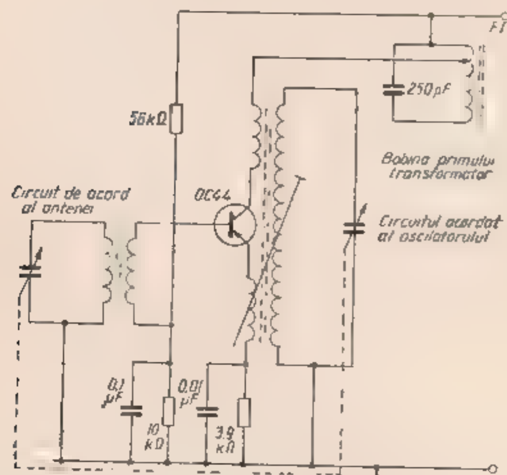


Fig. 31. Etaj mixer-oscilator folosind tranzistorul OC 44.

Sînt reprezentate componentele numai pentru o singură bandă, pentru alte benzi în circuit se introduc alte inductoare și alte capacitoare. Pentru a asigura pornirea ușoară a oscilatorului tranzistorul este polarizat inițial în clasa A de funcționare cu ajutorul a două rezistoare ce lucrează ca un divizor de tensiune. (56 KΩ și 10 KΩ). Pe măsură ce oscilațiile cresc dioda bază-emitor redresează semnalul generat; aceasta determină o tensiune continuă negativă pe rezistorul din emitor și pe capacitorul său de decuplare, provocînd intrarea tranzistorului în clasa B de funcționare. Amplitudinea oscilației este stabilizată de schimbarea de tensiune de la emitor.

Cum se combină toate aceste etaje într-un receptor?

În fig. 32, este reprezentat circuitul unui receptor portabil cu șase tranzistoare care ilustrează modul de îmbinare a caracteristicilor fiecărui etaj. În acest receptor se folosesc trei tranzistoare de frecvențe înalte, un *OC* 44 și două *OC* 45 pentru mixer și etajele FI. Detectorul este realizat cu o diodă cu germaniu de tip *OA* 70. În etajele de audio se găsesc trei tranzistoare — un *OC* 71 ce comandă două *OC* 72 împerechiate care formează etajul push-pull simetric în clasă B. Se remarcă eliminarea transformatorului de ieșire: în acest montaj impedanța de ieșire este astfel redusă încît etajul poate fi adoptat la impedanța ridicată a difuzorului (75 Ω). (Difuzoarele convenționale au impedanțe de 3 Ω și 15 Ω).

Radioreceptorul folosește o antenă magnetică (situată în interiorul receptorului). Bobinele de impedanță mică cuplează circuitul acordat din antenă la baza tranzistorului *OC* 44, care este folosit ca mixer auto-oscilant. Frecvența intermediară se extrage din tranzistorul *OC* 44

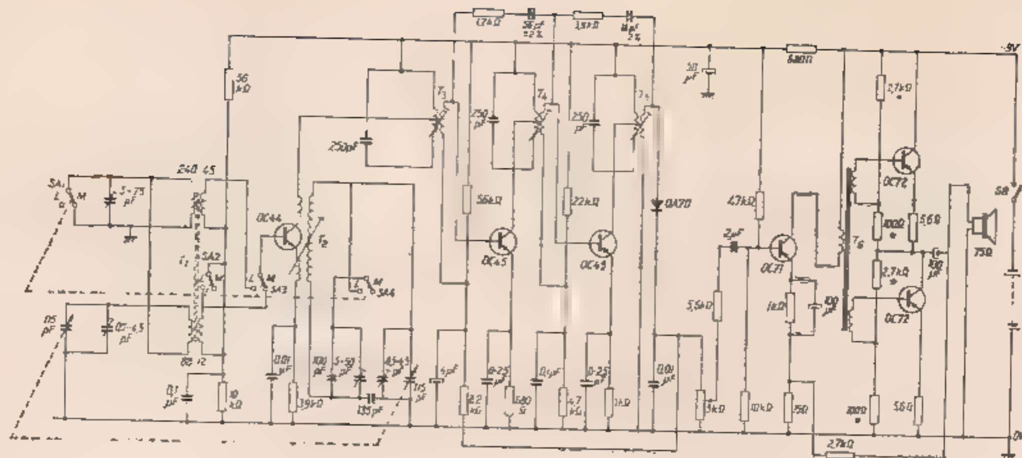


Fig. 32. Receptor-superheterodină folosind șase tranzistoare aliate.

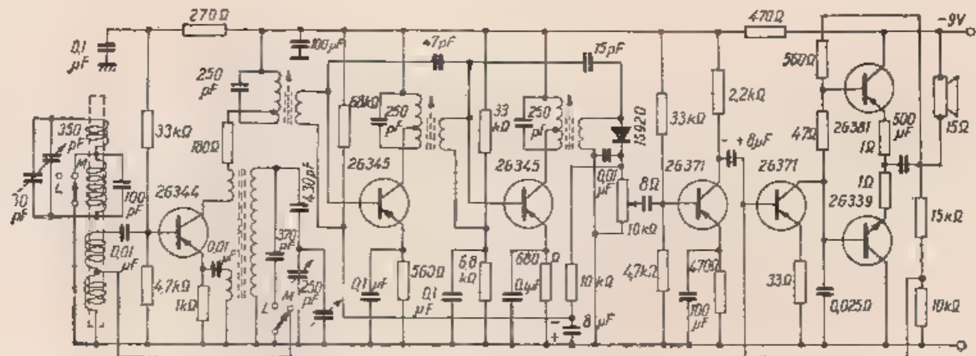


Fig. 33. Receptor superheterodină cu șapte tranzistoare aliate și două lungimi de undă. Bobinele de intrare sînt înfășurate pe o antenă de ferită. Capacitoarele de reacție (47 pF și 15 pF) se folosesc pentru a asigura neutralizarea celor două etaje amlificatoare de frecvență intermdeiară, frecvența intermediară fiind de 465 kHz. Etajul de ieșire clasă B cu o pereche complimentară de tranzistoare se conectează la difuzorul de 15 Ω. Puterea maximă de ieșire este de 0,5 W. Consumul în absența semnalului este de 10 mA și 40 mA pentru puterea de 50 mW.

cu ajutorul primului transformator de frecvență intermediară $T\,3$ iar cele două tranzistoare $OC\,45$ formează primul și al doilea etaj amplificator FI. Pentru a asigura o bună stabilitate se folosește metoda unilateralizării despre care s-a vorbit anterior. Semnalul audio este cules de la detector prin potențiometrul de volum (5 kΩ) și aplicat tranzistorului $OC\,71$, și un semnal continuu de la detector și întors la primul etaj FI pentru a asigura CAA.

În fig. 33 se reprezintă un receptor cu șapte tranzistoare ce realizează o putere de ieșire de 0,5 W. Circuitul diferă de primul în principal prin existența a două etaje de amplificare audio urmate de un etaj de ieșire format dintr-o pereche complimentară de tranzistoare conectate clasă B acest etaj fiind cuplat cu un difuzor de 15 Ω.

Ce este un cablaj imprimat și cît de mult se folosește?

Cablajele imprimate sînt larg folosite nu numai în radiourile cu tranzistoare ci de asemenea în calculatoare și o varietate de echipamente electronice industriale și mi-



Fig. 34. Exemplu de cablaj imprimat. Canalele negre de material conductor formează „cablajul". Terminalele componentelor se introduc în găurile arătate și sudate.

litare. El are forma unor fîșii metalice subțiri (cablajul) fixate pe o placă izolatoare, pe care pot fi montate componentele-rezistoare miniatură, capacitoare, etc. care completează circuitul.

Uneori componentele înșile, precum și firele de legătură, sînt realitate prin metoda imprimării, iar apoi placa completă este pe drept cuvînt numită circuit imprimat. În figura 34 se reprezintă un exemplu tipic de cablaj imprimat.

Cum se realizează cablajul imprimat?

Pe scurt, în metodele curent folosite forma cablajului, adesea foarte complex, este desenat (pictat) pe suprafața foliei de cupru ce acoperă banda subțire de material izolant, iar suprafețele de cupru nepictat sînt îndepărtate prin corodare. Ca metode de desenare se folosesc fotografierea, procesul silk-screen sau litografic. Pentru corodare se folosește clorura ferică.

Placa este prevăzută apoi cu găuri prin care trec terminalele componentelor. În general, componentele sînt situate de o parte a plăcii iar terminalele de cealaltă. Terminalele trebuie să fie sudate apoi la punctele corespunzătoare de pe cablajul imprimat.

Toate sudurile pot fi realizate într-o singură operație prin scufundarea părții cu conexiuni pentru cîteva secunde într-o baie de sudură. Aceasta se face economic prin folosirea sudurii selective. Se aplică un strat de aliaj pe suprafețele unde nu urmează să se realizeze conexiuni, iar părților rămase se aplică un flux. În final scufundarea în aliajul de lipit completează operația de sudură.

Care sînt avantajele cablajului imprimat?

Dezvoltarea cablajelor imprimate a avut loc în paralel cu miniaturizarea componentelor, astfel încît a fost posibilă realizarea unor ansamble mai compacte și mai ușoare. Despre rapiditatea sudurii s-a menționat deja iar

un alt factor este reducerea diferitelor capse și cose care sînt folosite în număr mare în cablajele convenționale.

Prin urmare este posibilă realizarea unor ansamble mai simple și mai rapide: crescînd viteza de realizare prețurile scad. De asemenea, se consideră că se reduc substanțial legăturile electrice greșite (numite de obicei legături uscate sau seci).

Sînt posibile dezvoltări viitoare ale cablajelor imprimate?

Etapa următoare este deja pornită: folosirea circuitelor integrate în echipamentele electronice. În circuitele integrate cele cîteva tranzistoare împreună cu rezistoarele, capacitoarele și interconexiunile asociate lor sînt formate pe un singur cip de siliciu, cu fire ce merg spre exterior pentru conectarea la sursa de polarizare, alte componente necesare sau pentru semnalul de intrare și ieșire. Un prim model de circuit integrat folosit în radioreceptoare folosesc trei tranzistoare în etajele push-pull și driver iar toate operațiile cu semnale mici sînt realizate de un circuit integrat care cuprinde douăsprezece tranzistoare și unsprezece rezistoare. Circuitul integrat realizează funcțiile, de schimbător de frecvență, amplificare FI, detectare, control automat al amplificării și preamplificării audio. Antena și circuitele acordate din oscilator sînt convenționale iar în circuitele FI acordate se folosește un filtru ceramic. Toate circuitele acordate sînt exterioare circuitului integrat.

Cît de mult se folosesc tranzistoarele în televiziune?

Folosirea tranzistoarelor în receptoarele de televiziune este suficient de extinsă. Tuburile sînt totuși predominante. Tranzistoarele folosite în TV trebuie să satisfacă

cerințe tehnice deosebite, care adesea sînt diferite de cele dintr-un radioreceptor. Problema se referă parțial și la preț, un receptor TV este complex avînd un număr mare de etaje amplificatoare sau alt tip.

S-au realizat deja receptoare TV portabile cu tranzistoare. Avantajele folosirii tranzistoarelor în astfel de receptoare sînt foarte evidente: sursa de alimentare a aparatului este suficient de ușoară ea nefiind o problemă practică, în cazul folosirii tuburilor.

Receptoarele portabile sînt suficient de compacte — potrivite folosirii în automobil — deși dimensiunile reale depind de mărimea tubului cinescop. O reducere substanțială a ecranului nu poate fi acceptabilă, în ciuda avantajului portabilității. Pe de altă parte, o problemă cu totul diferită este aceea că un cinescop mare înseamnă în mod corespunzător creșterea sursei de alimentare pentru circuitele asociate. În receptoarele TV, ca și în alte tipuri de echipamente electronice alimentate de la baterie, tensiune de alimentare scade pe măsură ce bateria se descarcă, iar aceasta pune problema asigurării acelor parametri care nu variază în limite prea largi. Efectele variațiilor de tensiune în receptoarele de televiziune vor fi mult mai serioase decît în receptoarele radio. Dar utilizatorul unui aparat portabil va fi uneori în apropierea unei rețele de alimentare și prin urmare în aparat se introduce un bloc de alimentare de la rețea precum și o baterie. În general în receptoarele de televiziune complet tranzistorizate se introduce un circuit de stabilizare a tensiunii pentru rezolvarea acestei probleme.

Tranzistoarele sînt din plin folosite în receptoarele alimentate de la rețea, îndeosebi în acele secțiuni ale circuitului unde se obțin anumite beneficii cum ar fi în secțiunile de radiofrecvență și frecvență intermediară. De asemenea tranzistoarele se folosesc în camerele de tele-

viziune, inclusiv cele folosite în sistemele cu circuit închis din industrie. Tranzistoarele se folosesc în preamplificatorul de antenă, care se inserează la cablul antenei: această aplicație s-a răspîndit odată cu extinderea transmisiilor UHF din benzile IV și V.

Tranzistoarele de frecvență înaltă ce lucrează în configurația bază-comună au performanțe superioare față de tuburile electronice existente și prin urmare au fost adoptate pe scară largă în unitățile acordate din UHF. În mod frecvent se folosește un rezistor dependent de tensiune pentru a regla linia de alimentare.

Folosirea tranzistoarelor în amplificatoarele Hi-Fi oferă avantaje?

Cele mai multe dintre avantajele folosirii tranzistoarelor în echipamentele radio în general sînt de asemenea importante într-un grad oarecare și în amplificatoarele de înaltă fidelitate (Hi-Fi) specializate; trebuie reținută, absența problemei ventilației, datorită temperaturilor de lucru joase, de asemenea posibilitatea reducerii dimensiunilor deși în prezent miniaturizarea arareori reprezintă un scop al proiectantului în echipamente de înaltă fidelitate. Tranzistoarele se folosesc cel mai mult acolo unde se cere reunirea tuturor circuitelor de intrare, dispozitivelor de control și a etajelor de ieșire pe un singur șasiu de dimensiuni moderate.

Tranzistoarele sînt mai eficiente și prin urmare sursa de alimentare a amplificatorului poate fi redusă ca volum și va determina un zgomot redus (considerînd că se folosește o sursă de curent continuu). Posibilitatea de a renunța la transformatorul de ieșire este foarte atractivă astfel încît în mod practic toate amplificatoarele stereo au etajele de ieșire fără transformator. Circuitele fără

transformatoare folosind tuburi electronice au fost proiectate anterior și s-a constatat că, printr-o proiectare foarte atentă, se pot obține performanțe excepționale în ce privește semnalele tranzitorii. Totuși, în mod normal nu se puteau obține impedanțe de ieșire mai mici de cîteva sute de ohmi, iar bobinele difuzoarelor trebuie să fie de o construcție specială pentru a asigura o adaptare corectă. Prin folosirea tranzistoarelor nu apare problema reducerii impedanței de ieșire astfel că se pot conecta la ieșire direct difuzoare convenționale de 15 Ω (sau mai mici).

În general apare problema acută a asigurării performanțelor în standarde cerute la un preț acceptabil. Cele mai dezvoltate amplificatoare, de standarde profesionale, sînt relativ complexe, și pentru acest motiv recent s-au proiectat cîteva modele noi cu tuburi și nu cu tranzistoare. Această situație se va schimba pe măsură ce tranzistoarele, tipurile de putere mare, vor fi disponibile la un preț acceptabil. Este foarte probabil că tranzistoarele cu siliciu vor fi cel mai mult folosite.

Despre tipurile de etaje de ieșire folosite

Pînă acum au fost folosite cîteva tipuri ale etajului de ieșire clasa B. Tipul cel mai simplu a fost prezentat în figura 26, dar acesta cuprinde un transformator de ieșire. Calea cea mai simplă pentru a elimina transformatorul este folosirea unui montaj push-pull simetric serie, așa cum se arată în fig. 35. Aici tranzistoarele de ieșire sînt în serie cu sursa de alimentare, dar ele sînt în paralel cînd se conectează difuzorul. Impedanța sarcinii necesare este un sfert din cea a montajului push-pull convențional, de fapt fiind conectat un difuzor de 15 Ω dacă se folosesc tranzistoare adecvate.

Totuşi, acesta rămîne un etaj în clasă B şi este expus distorsiunii de suprapunere care apare cînd un tranzistor din pereche se suprapune peste celălalt.

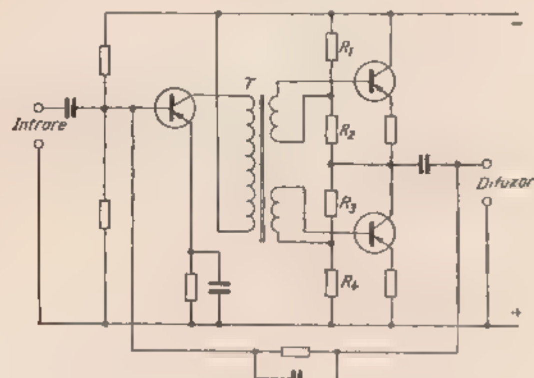


Fig. 35. Etaj de ieşire push-pull clasă B simetric.

Acest fapt ar milita împotriva performanţei de înaltă calitate dar poate fi redus printr-o polarizare ajustabilă astfel încît în absenţa semnalului curentul emitor este mic.

În schema prezentată rezistorul R_1, R_2, R_3 şi R_4, lucrează ca un divizor de tensiune, asigurînd polarizarea. Pentru a rezolva compensarea efectelor schimbării temperaturii în reţeaua de polarizare se interconectează uneori termistoare: alteori se poate folosi o diodă stabilizatoare pentru polarizare, care de asemenea asigură stabilitatea împotriva schimbărilor de tensiune.

În amplificatorul de înaltă fidelitate, în locul transformatorului defazor *T* se foloseşte un defazor cu tranzistoare, care este o altă cauză probabilă de distorsiune.

O altă metodă practică este înlocuirea transformatorului *T* cu un etaj de comandă simetric-complementar aşa cum se arată în figura 36.

Primul etaj cu tranzistor *pnp* alimentează în paralel perechea simetrică complementară. Dacă acest etaj lucrează în clasă B, fiecare amplifică o semialternanţă: tranzistorul *pnp* va amplifica semialternanţa negativă în timp ce tranzistorul *npn* semialternanţa pozitivă. Acest etaj va comanda etajul de ieşire clasă B push-pull.

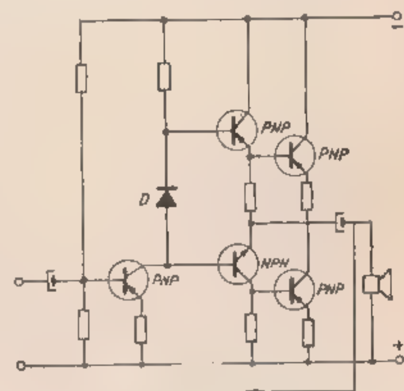


Fig. 36. Amplificator de putere. Un etaj de comandă (driver) cu o pereche de tranzistoare complimentare este conectat la etajul de ieşire push-pull simetric. Toate etajele sînt cuplate direct

În fig. 36 se arată de asemenea o metodă de stabilizare prin dioda *D* de polarizare. Caracteristica neliniară tensiune-curent a diodei arată că tensiunea la bornele ei scade cu mult mai încet decît curentul ce trece prin ea (curentul depinde de tensiunea bateriei). De asemenea, tensiunea scade cu creşterea temperaturii. Această caracteristică compensează etajul driver împotriva variaţiilor temperaturii şi tensiunii de alimentare.

Sînt importante aplicarea cu grijă a reacţiei negative şi împerecherea tranzistoarelor de ieşire.

Tranzistoarele din etajele de ieşire ale unui amplificator stereo lucrează în aşa-numitul mod — π al clasei AB. În acest caz, condiţiile de polarizare se schimbă în acord cu nivelul semnalului de intrare şi scopul este de a asigura un semnal de ieşire cît mai mare posibil (aproximativ de 10 W pe canal) cu distorsiune minimă. Circuitul (un canal) este reprezentat în figura 37.

În acest mod de funcționare curentul total este constant, iar pînă cînd ajunge la 40% etajul de ieșire lucrează în clasă A. După aceasta, există un domeniu în

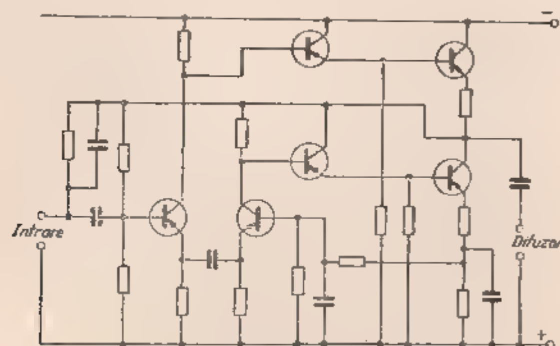


Fig. 37. Circuit clasă AB în mod π.

care tranzistoarele lucrează în clasă AB; dar la întreaga capacitate ele lucrează în clasă B. Acest montaj inedit reduce distorsiunea de suprapunere precum și alte feluri de distorsiuni.

La bornele de intrare ale unui amplificator, cerințele unui utilizator sînt aceleași ca și la amplificatoarele cu tuburi. În fig. 38 se arată cum se realizează aceste cerințe într-un amplificator modern. Acesta este un amplificator stereo integrat. Pentru claritate s-a prezentat numai un canal. Din această secțiune care cuprinde selectorul de intrare și egalizorul caracteristicii de înregistrare, semnalul este trecut în filtru și circuitul de control al tonului și apoi în etajul de ieșire.

Acum se comercializează amplificatoare cu tranzistoare de înaltă fidelitate în clasă A. Funcționarea în clasă A se realizează prin polarizarea tranzistoarelor montate în push-pull la mijlocul caracteristicii de funcționare, curentul mediu de colector rămînînd același dacă sem-

nalul este sau nu prezent. Deoarece tranzistoarele lucrează permanent la disipație maximă puterea de ieșire obținută este mai mică decît în clasă B. Întrucît tranzis-

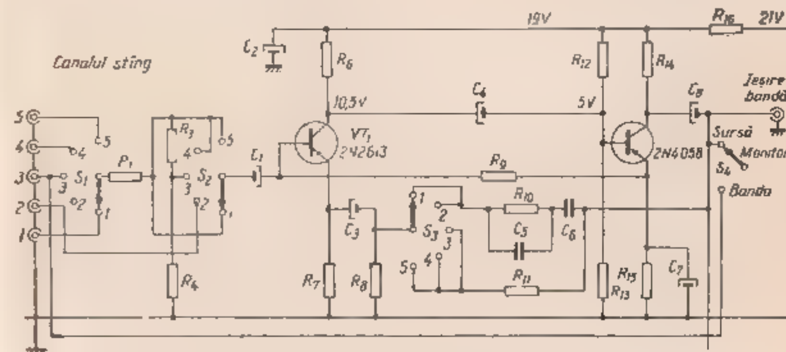


Fig. 38. Circuit de intrare al unui amplificator stereo Truvox TS A200. Canalul de stînga.

toarele se încălzesc, existența radiatorul devine esențială: tranzistoarele moderne cu siliciu lucrează satisfăcător în aceste condiții.

Cît de mult se folosesc tranzistoarele în magnetofon?

Tranzistoarele se folosesc pe scară largă în magnetofoanele portabile și desigur dezvoltarea componentelor miniaturizate și a cablajelor imprimate au avut o influență importantă asupra mărimii și greutății acestor echipamente, exact cum s-a întîmplat în cazul radioului și a picupului. În ultimii ani a apărut o varietate largă de magnetofoane alimentate de la baterie.

Avantajele folosirii tranzistoarelor sînt evidente, deși mai puțin spectaculoase, față de magnetofoanele alimentate la rețea. Spre exemplu, există problema ventilației

la magnetofoanele care, deşi folosind un număr mare de tuburi, sînt proiectate să fie compacte şi transportabile.

Tranzistoarele înlătură această problemă a ventilaţiei. Un alt avantaj este cel al eliminării timpului de încălzire: este avantajos ca pornirea şi redarea să poată avea loc în orice moment.

Toate circuitele oscilatoare şi amplificatoare din magnetofon pot folosi tranzistoare: în fig. 39 se arată un oscilator polarizat. Acest oscilator proiectat pentru o frecvenţă de 40 KHz, este alimentat de o baterie de 9 V şi asigură la ieşire o putere de 50 mW pe o sarcină de 180 Ω. Circuitul este alcătuit dintr-un tranzistor cu circuit acordat în colector şi emitorul la masă, ieşirea fiind luată din circuitul acordat din colector. Potenţiometrul *R3* controlează reacţia negativă datorită rezistenţei de stabilizare din emitor parţial nedecuplată şi care se ajustează pentru a realiza distorsiune minimă.

Fig. 39. Oscilator pentru magnetofon.

Q_1	NKT 274	R_1	820 Ω
D_1	25 µF	R_2	650 Ω
C_2	2 µF	R_3	25 Ω
C_3	0,002 µF	R_4	150 Ω

R_L aproximativ 180 Ω R_1 R_2 şi R_4 cu o toleranţă de 10%. N_s 9µH, N_p 900 µH.

Oferă tranzistoarele avantaje în serviciile publice?

În acest domeniu există avantaje notabile. La un moment dat, în ciuda cerinţei echipamentului portabil uşor, a fost necesar să se folosească amplificatoare grele şi destul de complexe, cum ar fi unele unităţi speciale ce absorbeau curenţi din bateriile de alimentare şi amplificatoarele de curent alternativ alimentate de la baterie prin convertoare. Dezvoltarea echipamentelor tranzistorizate a fost binevenită, permiţînd apariţia echipamentelor portabile care sînt relativ eficiente şi simple.

Un alt avantaj este că echipamentul este suficient de robust pentru condiţiile de lucru obişnuite. Puterile de

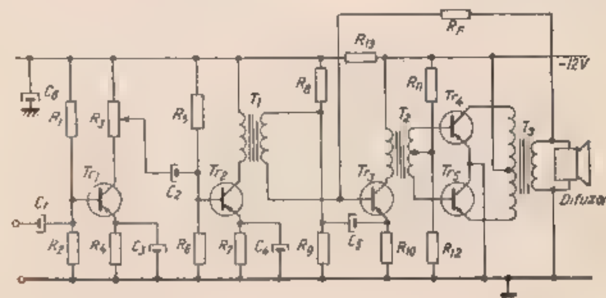


Fig. 40. Amplificator audio de putere, 20 W la 12 V:

Q_1	NKT 275	C_1	10 µF	R_1	220 Ω	R_8	180 Ω
Q_2	NKT 272	C_2	10 µF	R_2	47 KΩ	R_9	10 Ω
Q_3	NKT 453	C_3	10 µF	R_3	15 KΩ	R_{10}	1 Ω
Q_4	NKT 453 x	C_4	10 µF	R_4	5,6 KΩ	R_{11}	330 Ω
Q_5	NKT 453 x	C_5	2000 µF	R_5	4,7 KΩ	R_{12}	3 Ω
		C_6	100 µF	R_6	4,7 KΩ	R_{13}	47 Ω
x pereche				R_7	560 Ω	R_F	33 KΩ

ieşire ce se pot realiza sînt suficient de mari pentru a fi utile în cele mai multe aplicaţii unde problema portabilităţii este de asemenea importantă. Aceasta este valabil îndeosebi pentru instalaţiile mobile.

În fig. 40 se arată circuitul unui amplificator reprezentativ. Alimentat de la o baterie de 12 V, acest amplificator va realiza o putere de 20 W pe o sarcină de 15 Ω. Întrucît sensibilitatea este de 10 mV ar fi posibil să fie folosit cu un picup cu reluctanţă variabilă, dar o uşoară modificare va permite unui picup cu cristal să fie conectat la acest amplificator.

Acest circuit este alcătuit dintr-un preamplificator clasă A cu cuplaj *RC* cu emitorul cuplat la masă urmat de un etaj amplificator clasă A cuplat prin transformator

și emitorul la masă; semnalul se aplică unui etaj de comandă în clasă A și de aici etajului ieșire clasă B push-pull de emitorul la masă.

Tranzistoarele se pot defecta?

Tranzistoarele sînt mult mai robuste decît tuburile electronice și au o viață de funcționare lungă. Pe bună dreptate s-a spus că un tranzistor folosit în orice mod în limitele caracteristicilor sale va dura aproape la nesfîrșit. Totuși, fiecare tranzistor are un set particular de condiții de lucru care sînt specificate de fabricant, iar folosirea incorectă poate să-l deterioreze sau chiar distruge joncțiunile sau alte părți.

Spre exemplu, o tensiune excesivă poate determina defecte serioase. Deși tranzistorul este un dispozitiv rece comparativ cu tubul electronic, în mod normal există o pierdere de putere și prin urmare apare o ușoară creștere a temperaturii. Dar anumite condiții (cum ar fi unele circuite defecte) pot permite trecerea unui curent excesiv ce va determina supraîncălzirea și chiar topirea electrozilor.

Sursele de căldură exterioară, aplicate în mod accidental, pot determina defecte. Printr-o întîmplare se poate folosi pentru sudură un ciocan incorect. Alte surse externe includ camerele de depozitare supraîncălzite, cutiile de împachetare ermetic închise care provoacă încălzirea.

Precauții necesare

Așa cum s-a arătat mai sus, este esențial să ne asigurăm împotriva condițiilor de lucru incorecte din punct de vedere electric și să eliminăm sursele de căldură ce vor ridica temperatura peste limitele de siguranță.

Temperaturile de lucru ale tranzistoarelor cu siliciu pot fi mai mari decît a celor cu germaniu.

Pentru tranzistoarele de putere, precum cele folosite în etajele audio de ieșire, este necesar să se prevadă radiatoare. Acesta poate avea forma unui colier care va disipa căldura prin radiație. În multe cazuri colierul este unit cu șasiul amplificatorului, care conduce și disipă o cantitate considerabilă de căldură. Uneori tranzistoarele se localizează direct pe șasiu, realizînd contactul termic cu metalul. În alte cazuri se folosesc aripioare mari pentru a obține cea mai mare arie de radiație posibilă.

Fără un radiator tranzistorul se poate *ambala termic*. Disipația de căldură în joncțiunea tranzistorului ridică temperatura locală; aceasta crește curentul rezidual, care în schimb crește disipația și mai mult. Acest proces se oprește numai după ce tranzistorul s-a distrus.

Astfel de probleme desigur se au în vedere în etapa de proiectare a echipamentului, dar unele precauții, care în principiu sînt similare cu acestea, sînt necesare în timpul reparației echipamentului.

În particular este important să se țină terminalele unui tranzistor cu cleștele cînd se sudează sau înlocuiește. Aceste clește, așezat între tranzistor și ciocanul de sudură acționează ca o aripioară de răcire. Este important să se folosească un ciocan legat la pămînt: între pămînt și vîrful ciocanului poate exista o diferență de potențial de cîteva volți, potențial ce poate determina trecerea prin tranzistor a unui curent ce-l poate distruge.

De asemenea, instrumentele de măsură trebuie să aibă o tensiune de ieșire foarte mică (fabricanții anunță o tensiune maximă de 1,5 V) iar pentru anumite încercări este mai înțelept să se scoată tranzistorul din circuit. Echipamentul aflat la testat ar trebui scos din alimentare înainte de a se schimba componentele, eliminînd posibilitatea

apariției curenților tranzistorii ce ar afecta tranzistoarele. O joncțiune scurtcircuitată reprezintă tipul de greșeală determinat de neatenția față de cele spuse mai sus. O joncțiune în gol este de obicei determinată de o supraîncărcare posibilă datorită unei greșeli oriunde în echipament.

Cu o anumită grijă deteriorarea mecanică se poate evita. Totuși, conductoarele terminale nu trebuie să fie tensionate sau prea aproape de șasiu.

5 Alte dispozitive semiconductoare

r.tv. r.tv. r.tv. r.tv.

Ce alte dispozitive se mai cunosc?

De o importanță deosebită sînt diodele zener și varicap apoi tranzistoarele unijoncțiune, diodele tunel și fototranzistoarele. De asemenea mai există dispozitivele cu patru straturi (*pnpn*) cum sînt redresoarele cu siliciu comandate.

Dioda tunel

Acest dispozitiv, o invenție japoneză, are o caracteristică cu „rezistență negativă". Este util să se compare această caracteristică cu cea a unui rezistor obișnuit — dispozitiv liniar în care curentul este direct proporțional cu tensiunea aplicată — și cea a unui dispozitiv neliniar simplu, în care curentul crește într-un mod neliniar cu tensiunea aplicată. Această comparație este ilustrată în fig. 41.

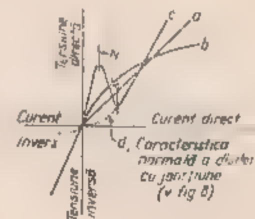


Fig. 41. Caracteristica diodei tunel *c* comparată cu caracteristicile liniară *a* și neliniară *b*. *N* reprezintă regiunea de rezistență negativă iar *d* reprezintă caracteristica unei diode cu joncțiune normală.

Se remarcă comportarea ceva mai deosebită a diodei tunel. La început curentului crește odată cu creșterea tensiunii pînă se atinge o anumită valoare, în continuare creșterea tensiunii deter-

mină o micșorare a curentului iar după ce se atinge un minim curentul începe să crească din nou. Astfel apare o regiune cu „rezistență negativă", notată cu N pe diagramă, unde se reprezintă de asemenea caracteristica diodei cu joncțiune.

Caracteristicile diodei tunel se datoresc dopării puternice a regiunilor p și n. Ca rezultat al acestei dopări apare o creștere constantă a curentului invers cînd crește tensiunea inversă în timp ce în sens direct există o creștere puternică a curentului pentru tensiuni mici directe Acest curent inițial se numește curent de tunelare iar după aproximativ 0,15 V va scade gradat pînă la aproximativ 0,3 V după care va urma o scurgere normală a curentului direct. Caracteristica cu rezistență negativă se datorează schimbării între aceste două mecanisme de curgere a curentului în sens direct.

Dioda inversă este similară cu dioda tunel prin faptul că are regiunile p și n puternic dopate, dar nu are o caracteristică cu rezistență negativă. Utilitatea acestei diode constă în caracteristica inversă aproape liniară care o face un redresor eficient pentru tensiuni mici.

Ce este o diodă zener?

Diodele semiconductoare au o tensiune de străpungere — tensiunea de străpungere inversă — la care joncțiunile slăbesc permițînd creșterea bruscă și importantă a curentului pentru o creștere foarte mică a tensiunii. Tensiunea la care se produce străpungerea se numește tensiune zener (vezi fig. 8). Dioda zener este concepută să lucreze într-un punct în spatele tensiunii de străpungere. Întrucît variații importante ale curentului vor produce variații foarte mici ale tensiunii la bornele diodei

dioda zener aceasta se folosește în circuite regulatoare de tensiune, ca dispozitiv de referință, dispozitiv de protecție în instrumentele de măsură.

Ce este o diodă varicap?

O joncțiune pn polarizată invers are o anumită capacitate întrucît ea este formată din două straturi, regiunile p și n, separate de stratul izolator, regiunea de golire dintre cele două regiuni. Această proprietate este exploatabilă în dioda varicap sau varactor care este concepută cu o suprafață mare pentru joncțiune. Capacitatea variază cu variațiile tensiunii inverse aplicate, această proprietate fiind folosită în controlul automat al frecvenței și acordul automat

Tranzistorul unijoncțiune

Tranzistorul unijoncțiune, sau dioda cu bază dublă, este un dispozitiv cu trei terminale care în anumite condiții prezintă o regiune cu rezistență negativă stabilă. El

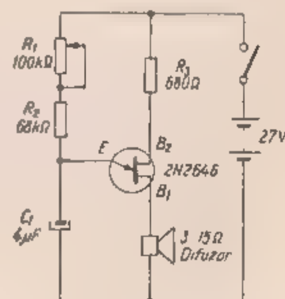


Fig 42. Metronom cu tranzistor unijoncțiune cu 90—220 bătăi, pe minut. Pentru reducerea frecvenței de oscilație se crește valoarea lui R_1, R_2 și C_1: pentru a crește frecvența de oscilație se reduc valorile lui R_1, R_2 și C_1·C_1 se încarcă prin R_1 și R_2 cînd tranzistorul este blocat. Cînd tensiunea pe capacitor atinge o anumită valoare tranzistorul comută, C_1 se descarcă prin el. În felul acesta pe bază apare un impuls iar la ieșire, pe emitor, un impuls dinte de fierăstrău.

este format dintr-o bază de siliciu de tip n care au două contacte de bază, unul la fiecare capăt al barei și o regiune a emitorului de tip p cu contact pe una din laturi. Tre-

cerea curentului între contactele de bază este controlată de curentul din emitor.

Numele acestui dispozitiv provine din faptul că este un tranzistor cu o singură joncțiune *pn*. În polarizarea directă joncțiunea prezintă o caracteristică cu rezistența negativă între emitor și unul din contactele bază. Dispozitivul este folosit ca oscilator (vezi fig. 42).

Redresor comandat

Așa cum se arată în fig. 43, acest dispozitiv are patru straturi de material semiconductor, formînd trei joncțiuni *pn*. El diferă de cealaltă diodă în principal datorită unei conexiuni externe, numită electrod de poartă.

Redresorul comandat prezintă o rezistență mare la trecerea curentului în orice direcție, dar rezistența scade brusc la o valoare mică dacă se aplică o tensiune directă care depășește o anumită valoare. După aplicarea tensiunii dispozitivul acționează ca un redresor, în care curentul curge numai în sens direct.

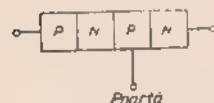


Fig. 43. Redresorul comandat are patru straturi de material semiconductor și o conexiune pentru poartă. Acest redresor se mai numește tiristor.

Poarta introduce un alt factor. Tensiunea de valoare mică aplicată porții comută redresorul comandat în starea cu rezistență de valoare coborîtă: adică impulsul de poartă „comandă“ dispozitivul, care apoi acționează ca redresor. Redresorul comandat rămîne în această stare după ce impulsul a fost aplicat numai dacă curentul direct nu este întrerupt. Dacă se întrerupe curentul, dispozitivul revine la starea inițială pînă ce se aplică un nou impuls de comandă.

Comanda redresorului este posibilă prin varierea tensiunii aplicate în sens direct, prin varierea tensiunii aplicate pe poartă sau prin combinarea lor.

Siliciul este materialul cel mai mult folosit pentru astfel de dispozitive, de aceea se folosește frecvent denumirea de *redresor cu siliciu comandat* și adesea se folosește abrevierea RSC. Redresorul cu siliciu comandat are aplicații în comutație, tehnica reglării și în comanda motoarelor. Acest dispozitiv se mai numește și tiristor. Folosit în echipamentele industriale permite obținerea dintr-un semnal de intrare alternativ constant a unui semnal de ieșire continuu variabil.

Ce este un termistor?

Acest dispozitiv permite transformarea energiei termice în energie electrică. El este un rezistor sensibil cu temperatura construit din material semiconductor și în general are un coeficient de temperatură negativ: rezistența sa scade cînd temperatura crește. Întrucît această schimbare poate fi detectată și folosită, termistorul poate fi incorporat, să zicem, într-un circuit de măsurare pentru a corecta comportarea circuitului cînd temperatura variază. El poate fi folosit de asemenea în stabilizare pentru a reduce efectul schimbării de temperatură, și este larg folosit în lanțul filamentelor din receptoarele de televiziune pentru a evita salturile de curent în timpul alimentării. De asemenea există și termistoare ce au coeficient pozitiv de temperatură.

Dioda „trigger“

Dioda trigger este un dispozitiv *pnpn* cu două terminale cu tensiune de declanșare. Pentru o tensiune inversă are caracteristica unei diode normale; în sens direct este

în stare de blocare pînă se atinge o valoare critică. În acest punct comută, printr-o regiune cu rezistență negativă, într-o stare de conducție, comportîndu-se apoi ca o diodă obișnuită. Dispozitivul are aplicații în circuitele de comutație. De asemenea în echipamentele de control industriale de putere se folosesc astfel de diode de putere.

Prin ce diferă fototranzistorul de un tranzistor obișnuit?

Fototranzistorul este în esență un tranzistor cu joncțiune avînd baza sensibilă la lumină. El se folosește ca amplificator și poate fi deci făcut să acționeze, printr-un releu, diferite echipamente. Posibilitățile dispozitivului sînt numeroase și folosite din plin. Spre exemplu, poate fi folosit în sistemele de alarmă antifurt, de deschidere a ușilor, control și altele.

Dispozitivele de alarmă pot cuprinde un fototranzistor și o sursă de raze infraroșii, sursa avînd forma unui far așezat sub automobil prevăzut cu un filtru pentru raze infraroșii.

Ce material se folosește în celulele solare?

Acest tip de celule în mod obișnuit folosește cristalele de siliciu, iar montajul este astfel realizat încît energia se obține datorită unui efect foto-voltaic. Joncțiunea este realizată între straturi de siliciu de tip *n* și de tip *p*, iar unul dintre straturi este suficient de subțire pentru a permite radiației solare să pătrundă prin ea și să iradieze joncțiunea. Rezultatul este că purtătorii de sarcină trec prin joncțiune eliberînd deci energie.

Pentru construirea unei baterii de celule solare este necesar foarte mult material și prin urmare este greoaie

și scumpă: de aceea se fac investigații pentru alte surse. Cercetările momentane sînt totuși legate de semiconductoare: ca și în alte dispozitive, folosirea peliculelor obținute prin evaporare, în locul cristalelor, este capabilă să asigure cel mai satisfăcător rezultat în raport cu prețul, greutatea și posibilitățile de fabricație.

Pot fi utilizate semiconductoarele pentru a produce lumină?

În această direcție s-au obținut unele rezultate. Cu aproape patruzeci de ani în urmă un savant sovietic a constatat că la trecerea curentului prin cristalele de carbură de siliciu, acestea emit lumină. Acest fenomen nu a fost luat în seamă pentru aspectele practice, dar mai tîrziu s-a observat că de fapt o varietate largă de semiconductoare ar putea prezenta fenomenul de electroluminiscență. Nu toate cristalele emit lumină vizibilă: unele dintre ele emit lumină infraroșie.

Unul din cele mai primitătoare materiale, fosfura de galiu a fost folosită de cercetătorii britanici pentru construirea unei lămpi cu cristal. O sursă de lumină de acest fel poate fi foarte mică și are un consum de putere foarte mic. De asemenea în acest moment se folosește lampa cu arsenură de galiu care produce o radiație infraroșie.

Se folosesc și alte materiale semiconductoare pentru tranzistoare?

În prezent se folosesc puține alte materiale, dar cu siguranță există mulți compuși și substanțe care prezintă interes în electronică. Acestea sînt indiul, antimoniul, arsenura de galiu, sulfura de cadmiu, sulfura de plumb, oxidul de cupru și fosfura de galiu.

Ce este un circuit integrat?

Un circuit în care toate componentele și interconexiunile sînt formate pe o singură pastilă de material semiconductor reprezintă un circuit integrat. Acesta reprezintă în mare parte o dezvoltare a tehnologiei planare a siliciului: în afara difuziei prin care se formează diferite secțiuni ale tranzistoarelor, într-un circuit integrat alte părți ale circuitului, cum ar fi diodele și rezistoarele, sînt realizate prin difuzie multiplă. Completările următoare se fac prin depunere superficială pe plachetă. În acest mod se pot produce circuite complete, cum ar fi multivibratoarele, amplificatoarele mici etc. ca o singură unitate, tehnologia permițînd realizarea unei mari cantități de circuite simultan în formă microminiaturizată. Întrucît componentele active cum ar fi diodele și tranzistoarele ocupă în circuitul integrat mult mai puțin spațiu decît componentele pasive cum sînt rezistoarele sau capacitoarele, în circuitele integrate se folosesc mult mai multe componente active decît în circuitele convenționale în care se asamblează împreună componente separate.

Ce este un circuit cu peliculă subțire?

În această metodă, circuitele complete se formează prin depunere în vid a unor straturi foarte subțiri de metale, semiconductoare și dielectrici pe un substrat izolator de susținere. Această metodă se limitează în prezent numai la componente pasive.

Ce este un circuit integrat de structură atomică?

Un circuit integrat de structură atomică reprezintă un dispozitiv format pe un monocristal semiconductor cu o lungime de cîteva sutimi de centimetru care în realizarea

operațiilor de prelucrare a semnalelor nu se bizuie pe joncțiunile *pn* ci pe fenomene mult mai complexe ce apar în anumite condiții în structura atomică a materialului semiconductor. În particular se poate folosi doparea variabilă de-a lungul căii de conducție.

Poate realiza operații electronice complexe cum ar fi formarea semnalelor și conversia analog-digitală.

Ce dispozitive semiconductoare de microunde se folosesc în prezent?

Deși tuburile electronice pentru microunde se folosesc pe scară largă recent au început să apară un număr de dispozitive semiconductoare destinate funcționării în microunde. Un exemplu îl constituie dioda Gunn care folosește arseniura de galiu de tip *n*. Cînd se aplică o tensiune de polarizare suficient de mare dispozitivul lucrează ca oscilator de microunde.

6 Tranzistoarele în industrie

Care sînt cele mai importante utilizări ale dispozitivelor semiconductoare în industrie?

Aceste dispozitive se folosesc cu miile în calculatoarele angrenate într-o varietate de sarcini industriale, comerţ şi cercetare. De asemenea, tranzistoarele oferă avantaje în instrumentele de măsură şi sistemele de control ale motoarelor electrice, generatoare şi procese de fabricaţie. Acolo unde sînt necesare un număr mare de circuite, cele mai căutate atribute sînt dimensiunile şi tensiunile de alimentare mici. În această privinţă tranzistoarele sînt superioare tuburilor. Printre multele tipuri de dispozitive folosite, de o importanţă deosebită sînt tiristoarele, tranzistoarele sensibile la lumină, redresoarele cu siliciu şi tranzistoarele.

Exemple de circuite fundamentale

În afara amplificatoarelor şi oscilatoarelor, menţionate anterior, circuitele cu tranzistoare pentru comutaţie şi numărare sînt printre cele mai importante în echipamentele industriale şi calculatoare. Un comutator electronic poate lucra foarte repede şi nu are părţi mobile. Un tranzistor care este în stare ON, adică conduce, este echivalent cu un comutator închis, în timp ce unul care este în stare OFF, adică nu conduce, este echivalent cu un comutator

deschis. Exemplele ce urmează vor servi drept introduce în acest subiect.

Deşi iniţial s-au folosit tuburi electronice pentru comutatoare electronice, sau porţi cum se mai numesc adesea, tranzistorul datorită vitezei sale de lucru mai mare este mult mai adecvat unor astfel de sarcini şi a făcut de fapt posibilă dezvoltarea unor tipuri de echipamente avansate (cum ar fi calculatoarele) care au devenit atît de familiare astăzi.

Tranzistorul se foloseşte în circuitele de impulsuri cu rol de comutator de tensiune sau curent. Funcţionarea sa depinde de valoarea altor componente (rezistoare şi capacitoare spre exemplu) iar frecvenţa de repetiţie a impulsurilor este determinată de viteza cu care tranzistorul va comuta dintr-o stare în alta.

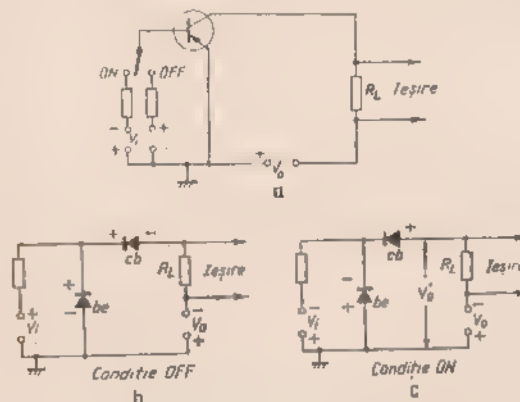


Fig. 44. Comutator în conexiunea cu emitorul comun *a*. Circuite echivalente cu diode pentru stările ON şi OFF, *b* şi c.

Pentru simplitate cele două joncţiuni ale tranzistorului pot fi socotite ca fiind două redresoare cu diodă separate. În fig. 44, *a* se reprezintă un circuit de comutaţie cu emi-

torul comun iar în fig. 44, *b* şi *c* circuitele cu diode echivalente pentru stările OFF şi ON ale tranzistorului. În starea OFF ambele diode sînt invers polarizate şi nu vor conduce. Prin sarcina R_L nu va trece curent. Cînd tensiunea dintre bază şi emitor se inversează, ambele diode sînt polarizate direct şi conduc. Astfel circuitul comută în starea *ON* iar prin sarcina R_L trece curent. În acest exemplu simplu inversarea polarităţii este făcută mecanic, dar în practică se foloseşte un impuls de tensiune.

De asemenea folosind dioda într-un exemplu simplu este posibilă analizarea funcţionării porţilor AND* şi OR*, care se numără printre elementele esenţiale ale circuitelor logice din calculatoare. Referindu-ne la figura 45, poarta AND produce un semnal la ieşire numai dacă se aplică simultan semnale la fiecare intrare. Poarta OR produce un semnal la ieşire dacă se aplică un semnal la ambele sau una din intrările porţii. Cînd semnalele sînt pozitive, circuitul din *a* acţionează ca o poartă AND iar cel din *b* ca o poartă OR; cînd semnalele sînt negative totul se inversează. În cazurile practice există mai multe intrări, nu numai două cum s-a arătat mai sus. Un alt circuit îl reprezintă poarta NOT**, care produce semnal la ieşire cînd nu se aplică semnal pe niciuna din intrări.

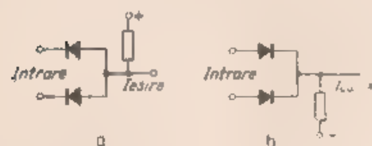


Fig. 45. Circuite OR şi AND cu două diode de intrare

Circuitele logice din cele mai recente calculatoare pot fi relativ complicate — deşi de dimensiuni mici — şi folosesc diferite tipuri de componente şi lucrează la viteze de ordinul nanosecundelor.

* porţi ŞI, SAU.
** poartă NU.

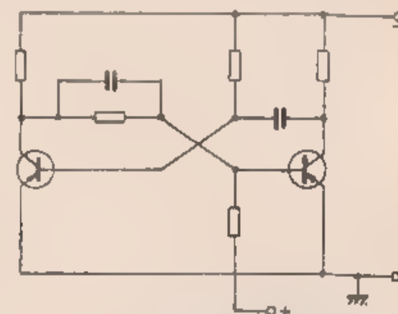
Alte circuite de impulsuri

Un circuit foarte răspîndit este cel care comută între două stări de funcţionare, ON şi OFF. Oricare sau ambele stări pot fi instabile, adică circuitul nu va rămîne în starea numită „instabilă" şi se reîntoarce automat la cealaltă stare. Dacă nici una din stări nu este stabilă circuitul se află într-o stare de funcţionare continuă; adică trece dintr-o stare în cealaltă în mod continuu.

Multivibratorul a fost iniţial inventat pentru a satisface necesitatea unui generator de unde patrate care sînt bogate în armonici. Montajul de bază din figura 24 are două stări instabile Cînd circuitul este adus în stare de funcţionare, uşorul dezechilibru ce există între componente determină trecerea tranzistorului în una din stările instabile: în consecinţă apare o basculare între cele două stări instabile.

Circuitul bistabil (fig. 46), are o stare stabilă şi una instabilă.

Montajul bistabil Eccles-Jordan din fig. 47 are o importanţă deosebită datorită largii folosiri în numărătoare.


Fig. 46. Circuit bistabil. În comparaţie cu multivibratorul astabil din fig. 24, acest circuit are o stare stabilă şi una astabilă, şi se numeşte multivibrator monostabil.

Un impuls aplicat la intrare împinge circuitul într-o stare stabilă, unde rămîne pînă cînd un al doilea impuls îl aduce în starea iniţială. Pentru fiecare două impulsuri aplicate la intrare apare la ieşire un impuls: astfel că acest circuit realizează diviziunea prin doi.

În exemplul precedent circuitul bistabil este comandat în stările ON sau OFF prin impulsuri de aceeaşi polaritate. Dacă impulsurile s-ar aplica în acelaşi moment ambelor tranzistoare ar apărea o întîrziere în comutare şi

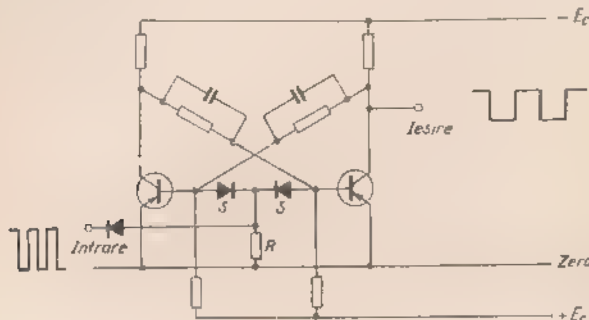


Fig. 47. Circuit bistabil Eccles-Jordan. Acest circuit are două stări stabile şi este folosit în numărătoare rezultînd la ieşire un impuls pentru două impulsuri de intrare.

prin urmare se introduc diodele de „direcţionare" care vor evita această întîrziere. Montajul se face astfel încît dacă vine un impuls de intrare negativ el este totdeauna condus spre tranzistorul în stare OFF (deşi inversarea conexiunilor diodelor face ca circuitul să fie sensibil la impulsul pozitiv).

În practică o serie de astfel de circuite se vor asambla astfel încît ieşirea unuia acţionează intrarea următorului. În acest mod se poate realiza un numărător binar (sau, cu unele modificări un numărător decadic). Informaţiile sînt extrase din bistabil printr-un circuit poartă spre exemplu poarta AND menţionată deja. În general se folosesc tranzistoarele cu siliciu în scopul minimizării efectelor temperaturii.

Ce este un amplificator de curent continuu?

În instrumentele de măsură, calculatoare şi sistemele de control automate se cere adesea amplificarea unor semnale continui aplicate la intrare. Amplificatoarele de curent alternativ normale, ce cuprind capacitoare sau transformatoare de cuplaj între etaje, nu sînt adecvate pentru amplificarea semnalelor continui: capacitorul, avînd o constantă de timp specifică va bloca semnalul continuu. Prin urmare etajele trebuie să fie cuplate direct.

În amplificatoarele de curent continuu folosite pentru măsurări apar probleme legate de variaţiile cîştigului şi a alinierilor punctului de zero. Prima poate fi depăşită prin aplicarea unei reacţii negative. Devierea poate fi minimizată prin folosirea tranzistoarelor cu siliciu. În exemplul din fig. 48 tranzistoarele complementare (*pnp* şi *npn*) sînt cuplate direct.

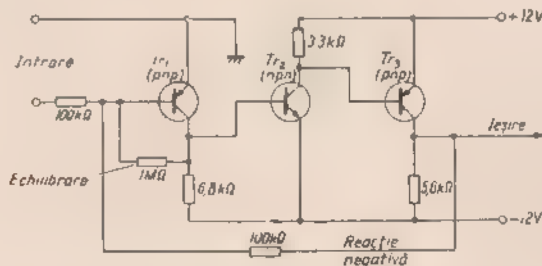


Fig. 48. Amplificator de curent continuu cu reacţie, folosind două tranzistoare *pnp* şi un tranzistor *npn*.

Proiectanţii de circuit sînt ajutaţi în prezent de existenţa tranzistoarelor duble — adică, o pereche de tranzistoare aflate în aceeaşi capsulă. Aceasta asigură avantajul

important al unei diferențe de temperatură minimă între tranzistoarele ce formează perechea și în general suportă dezvoltările circuitelor cu devieri reduse.

O utilizare importantă a amplificatoarelor de curent continuu se află în „amplificatoarele operaționale“ din calculatoarele analogice. Așa cum sugerează și numele, amplificatorul operațional este folosit pentru efectuarea operațiilor matematice cum sînt adunarea, integrarea și diferențierea. Aceasta se realizează cu ajutorul reacției. Montajul fundamental este format dintr-un amplificator ce are o impedanță de intrare Z_1 și o impedanță de reacție în paralel Z_2. Considerînd că amplificarea este suficient de mare, tensiunile de intrare e_1 și ieșire e_0 sînt legate prin relația: $e_0/e_1 = -Z_2/Z_1$. Prin schimbarea impedanțelor serie și de reacție, care pot fi rezistive, reactive sau neliniare, se pot realiza diferite funcții operaționale. Faptul că un astfel de amplificator necesită amplificare mare, stabilitate în diferite condiții de reacție, impedanță de intrare mare și deviere mică înseamnă că aceasta este potrivit și pentru instrumente sau alte aplicații.

Ce este „stabilizarea față de ambianță“?

În scopul realizării unei fiabilități complete (sau cît mai perfectă posibil) echipamentele realizate cu tranzistoare și alte dispozitive sensibile cu temperatura pot fi închise într-o incintă în care condițiile de lucru sînt strict controlate. Spre exemplu, echipamentele tranzistorizate din aviație pot fi protejate în acest mod. Toate componentele închise sînt menținute la o temperatură ce poate fi controlată pînă la o fracțiune de grad, umiditatea este controlată și există o izolație termică de un înalt grad. Se poate introduce și o instalație de răcire.

În acest mod se realizează stabilizarea echipamentelor față de mediul în care lucrează. Introducerea materialelor suplimentare se adaugă prețului inițial, și s-ar crede că mărirea volumului ar fi un dezavantaj. Dar de fapt acest control strict al funcționării conduce la reducerea consumului de putere, unele simplificări de circuit și alte posibilități de reducere a dimensiunilor fizice. Ba mai mult, o fiabilitate foarte bună conduce la o economie de activități, cum ar fi lucrul în aviație care este deja costisitor. Prin urmare este de așteptat că astfel de metode vor fi folosite tot mai mult în viitor.

O metodă de protecție a echipamentelor tranzistorizate mai puțin avansată este simpla aero-condiționare. Spre exemplu, mijloacele de navigație aeriană au fost construite sub formă de module etanșe umplute cu gaz inert la o presiune puțin mai mare decît presiunea atmosferică pentru a le proteja împotriva prafului și altor impurități din aer. Metodele descrise aici pot fi aplicate la calculatoare.

Ce fel de redresoare se folosesc în electrotehnică?

Dispozitivele semiconductoare cu germaniu și siliciu sînt larg folosite. În unele domenii, datorită avantajelor specifice cum ar fi eficiența ridicată, ele înlocuiesc redresoarele metalice familiare, care în mod obișnuit folosesc bariera construcției în straturi ale seleniului sau oxidului de cupru. Redresoarele cu joncțiune cu siliciu au caracteristicile dorite de rezistență directă mică și rezistență inversă foarte mare, iar exemplele recente de redresoare industriale sînt calculate pînă la 0,25 MW. Ele sînt mai robuste și mai mici decît vechile tipuri de redresoare pe care le înlocuiesc.

Pentru comanda în tensiune, cum ar fi comanda vitezei unui motor de curent continuu, redresoarele cu siliciu comandate sînt folosite în mod curent. Alte aplicații ale dispozitivelor semiconductoare, în particular cele cu siliciu, sînt sistemele de comandă asociate mașinilor unelte și alternatoarelor.

Redresorul cu siliciu comandat (tiristor) a fost descris în capitolul 5. Comparat cu tiratronul, pe care tinde să-l înlocuiască în echipamentele industriale, redresorul cu siliciu comandat (RSC) are o cădere de tensiune directă foarte mică în starea de conducție și prin urmare este foarte eficient. El are timp de comandă și revenire de ordinul microsecundelor și poate lucra la o temperatură ridicată. De asemenea, în comparație cu tubul electronic, el nu are filament — deci nu este necesară o perioadă de încălzire — și este mult mai robust și mai compact.

Un impuls de poartă comandă dispozitivul să conducă în sens direct, altfel fiind blocat pînă la sosirea impulsului. Dispozitivul rămîne în starea de conducție pînă cînd se întrerupe curentul prin el. El poate fi amorsat în orice punct al semisinusoidei, permițînd astfel obținerea unui semnal de ieșire variabil continuu dintr-un semnal de intrare alternativ constant.

O aplicație tipică a tiristorului

În multe tipuri de echipamente, cum ar fi mașinile textile și de imprimat, pompele, ventilatoarele mari sau mașinile unelte, sînt necesare comenzi cu viteze variabile. Cu ajutorul tiristoarelor se poate proiecta un sistem de comandă suficient de simplu.

În fig. 49, se reprezintă schema generală a unui sistem de comandă pentru un motor de curent continuu mic. Excitația motorului este alimentată cu o tensiune constantă

obținută de la un redresor. Viteza motorului se modifică variind tensiunea indusului folosind o punte cu tiristoare, care este comutată din starea de blocare în cea de con-

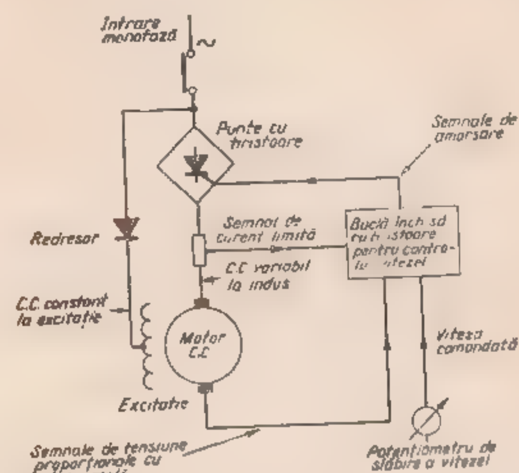


Fig. 49. Comanda vitezei unui motor de curent continuu.

ducție cu ajutorul impulsurilor de amorsare de putere mică. Prin reglarea impulsurilor se comandă momentul în care tiristorul începe să conducă și se comandă astfel nivelul mediu al tensiunii de ieșire.

Reglarea impulsurilor de amorsare cu potențiometrul de stabilire a vitezei se realizează cu un circuit simplu de comandă. De asemenea el previne supraîncărcările și compensează creșterile de sarcină.

În fig. 50 se reprezintă o aplicație tipică a RSC pentru puteri mari. Acesta este un motor-generator Ward-Leonard, în care excitația generatorului este alimentată de la un RSC. Montajul permite o frînare regenerativă cînd echipamentul funcționează la o viteză mai mică. Circuitul

de aprindere al RSC cuprinde un reactor saturabil care solicită curentul de ieșire al unui amplificator de comandă tranzistorizat ($T1$—$T4$ în acest circuit).

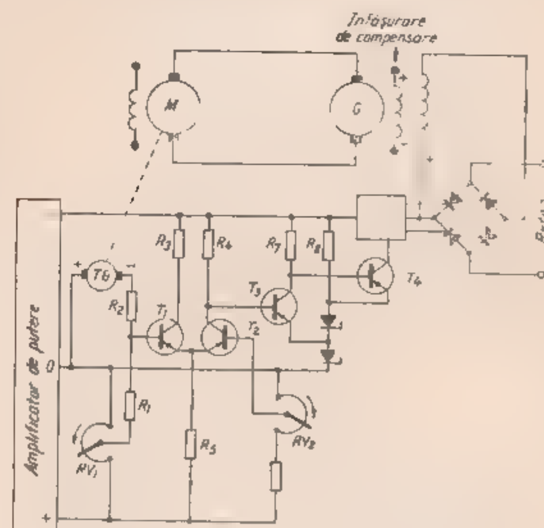


Fig. 50. Sistem de control Leonard-Ward tranzistorizat.

Utilizarea radiatoarelor în echipamentul industrial

S-a prezentat deja (pag. 62) importanța eliminării căldurii din tranzistoarele folosite chiar în instalații mici (cum ar fi amplificatoarele audio). În echipamentele industriale unde se folosesc redresoare cu siliciu mari și tiristoare sînt foarte necesare radiatoare cu o suprafață de răcire mare.

La folosirea radiatoarelor proiectanții de echipamente trebuie să țină seama de mulți factor cum ar fi toleran-

țele componentelor, posibilitatea acumulării de praf pe radiator în timpul folosirii, temperatura ambiantă și ventilația. În multe cazuri se folosește răcirea prin aer con-



Fig. 51. Secțiune într-un radiator folosit pentru un redresor cu siliciu.

diționat. În fig. 51 se prezintă o secțiune transversală într-un radiator fabricat prin extrudere. În acest exemplu se evidențiază suprafața de radiație mare asigurată de aripioare.

Utilizări industriale ale dispozitivelor sensibile la lumină

O fotocelulă și un proiector — o lampă ce poate direcționa raza de lumină — sînt astfel aranjate încît obiectul ce urmează a fi detectat să treacă printre ele. Celula poate fi un fototranzistor sau alt dispozitiv fotoconductiv (spre exemplu celula cu sulfură de cadmiu) conectat la un amplificator cu tranzistoare separat. Indiferent de montaj, circuitul în mod obișnuit cuprinde un releu ce acționează echipamentul (vezi fig. 54). Montajul poate funcționa fie prin întreruperea razei de lumină fie prin aplicarea ei.

Acest dispozitiv simplu are o varietate foarte largă de utilizări în industrie. Aceasta include detecția, numărarea și observarea (monitorizarea) articolelor ce trec pe o linie de producție; numărarea vehiculelor sau oamenilor; deschiderea ușilor; acționarea sistemelor de alarmă și comandă a mașinilor. Fotocelulele pot fi folosite în scopuri de reglare; de exemplu la încercarea automobilelor

Funcționarea celulei poate fi dependentă de schimbări gradate a intensității luminii astfel că este posibilă detecția fumului sau substanțelor vaporizate. O aplicație interesantă este monitorizarea tulburelii și consistenței fluidelor. De asemenea, dispozitivul poate lua forma unui controlor automat al sistemelor de iluminat, care funcționează cînd lumina naturală scade la o anumită valoare.

Trebuie menționat că dispozitive specializate ocupă un important loc în industria oțelului. Oțelul fierbinte reprezintă o sursă de raze infraroșii și prin urmare aceste dispozitive pot fi incorporate în sistemele de comandă și securitate.

Există un interes crescînd față de dispozitivele fotodetectoare pentru detecția radiației în regiunea dintre infraroșu și microunde (lungimi de undă de aproximativ 100 μm și mai mari). Acest tip de dispozitiv este necesar în cercetări și radiocomunicații. Unele detectoare pentru infraroșul apropiat folosesc materiale nedopate cu impurități cum ar fi antimoniura de indiu, sulfura de plumb și telluriul. Un detector practic pentru cercetare folosește antimoniura de indiu de tip *n*.

Cît de mult se folosesc semiconductoarele în instrumente?

Tranzistoarele sînt larg folosite în oscilatoare, amplificatoare, circuite de comandă (in scheme de automatizare spre exemplu) în generatoare de semnal și au înlocuit în mare parte tuburile electronice într-o varietate de voltmetre, frecvențmetre și alte instrumente de măsură. Avantajele practice cuprind reducerea dimensiunilor instrumentelor, eliminarea virtuală a problemelor de ventilație și micșorarea surselor de alimentare. Mai trebuie

menționată folosirea cablajelor imprimate și in unele cazuri a microcircuitelor.

Pentru măsurari la frecvențe înalte tipurile speciale de tranzistoare folosite oferă avantaje față de tuburi: conductanța mutuală de valoare mai mare permite folosirea unor rezistențe de sarcină de valoare mai mică și de asemenea este posibilă o lărgime de bandă de funcționare mai mare. Pe de altă parte, amplificatoarele de c.a. tranzistorizate cu impedanțe de intrare mari sînt mai greu de conceput dar tipurile recente de tranzistoare au îmbunătățit această situație.

În circuitul voltmetrului tranzistorizat din fig. 52, primele două tranzistoare formează un amplificator de tensiune compensat. Acesta alimentează o pereche de tranzistoare care, în montaj repetor pe emitor, asigură o amplificare de curent suplimentară. În circuit se pot introduce rezistoare de valori ridicate pentru a asigura game mari

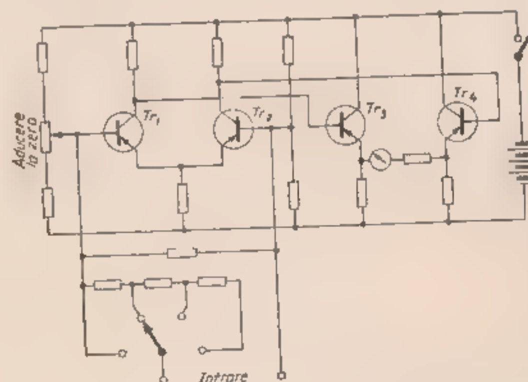


Fig. 52. Voltmetru cu tranzistoare.

de tensiune in cazul instrumentelor foarte sensibile. Pentru minimizarea efectelor temperaturii într-un astfel de instrument se folosesc perechi echilibrate de tranzistoare cu siliciu.

De asemenea în instrumente sînt importante generatoarele de impulsuri, numărătoarele de impulsuri şi amplificatoarele de curent continuu despre care s-a vorbit deja. În general tranzistoarele înlocuiesc tuburile în instrumentele de măsură.

Poate cel mai neobişnuit şi mai interesant fenomen ce poate fi utilizat în instrumentele de măsură este efectul Hall, care apare cînd o bucată de material semiconductor este ţinută într-un cîmp magnetic. Pe scurt, dacă printr-o plachetă de material semiconductor trece un curent iar cîmpul magnetic este perpendicular pe plachetă (trecînd prin feţele sale) între capetele opuse ale plachetei apare o tensiune electrică. Tensiunea este proporţională cu produsul dintre cîmpul magnetic şi curentul ce trece prin plachetă.

În practică un dispozitiv Hall este format dintr-o plachetă montată într-o fereastră a unui miez de ferită peste care este înfăşurată o bobină. Aceste două elemente pot fi reprezentate ca în fig. 53. Semnalul de intrare *A* ce trece prin semiconductor interacţionează cu cîmpul magnetic produs de intrarea *B*. Tensiunea de ieşire de la capetele plachetei este proporţională cu produsul celor două semnale de intrare

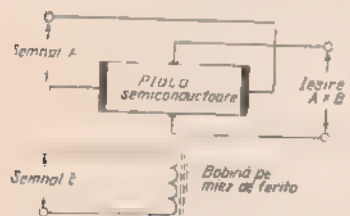


Fig. 53. Dispozitiv Hall

Dispozitivul Hall poate fi folosit pentru convertirea măsurării unui flux magnetic în măsurarea unei tensiuni continue sau alternative. Deci el poate fi socotit ca un transductor. În alte aplicaţii, dacă una din intrări este alternativă iar cealaltă continuă, ieşirea este o tensiunea alternativă cu amplitudinea proporţională cu intrarea continuă. Cu alte cuvinte apare o conversie continuă în alternativ. Dispozitivele Hall pot fi folosite în calculatoare şi echipamente radio precum şi în instrumente de măsură.

Cum creşte un tranzistor sensibilitatea unui releu?

Releul însuşi poate cu ajutorul unui curent mic să comute circuite ce suportă curenţi mult mai mari. Un releu acţionat de un curent, sa zicem, 10 mA poate comanda circuite ce suporta curenţi de 10 A. Totuşi, se poate obţine o creştere considerabilă a sensibilităţii prin folosirea unui tranzistor pentru amplificarea curentului, astfel încît curentul de intrare în releu poate fi de numai cîţiva microamperi.

Aşa cum se arată în fig. 54 baza tranzistorului este conectată la emitor printr-un rezistor iar curentul de colector este insuficient pentru a acţiona releul, *R*. Cu ajutorul unui curent de intrare de valoare mică tranzistorul va conduce şi va acţiona releul. Ar fi de notat că tranzistorul foloseşte sursa de alimentare folosită deja pentru releu. Acest releu este larg folosit în echipamentele industriale.

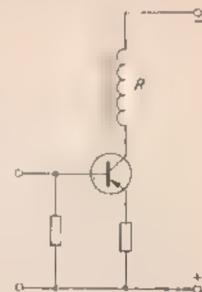


Fig. 54. Utilizarea tranzistorului pentru creşterea sensibilităţii unui releu.

Instrument pentru măsurarea radioactivităţii

Un contor cu tub Geiger-Müller pentru citirea intensităţii radiaţiei se pot realiza foarte simplu utilizînd tranzistoare. Pentru aceasta este necesar să se medieze numărările de impulsuri obţinute de la un tub Geiger-Müller şi a amplifica şi converti acest semnal în unul ce se

poate citi pe un instrument. În fig. 55 se arată un astfel de circuit.

Circuitul cuprinde tubul HC4, un amplificator cu două etaje cu o ieşire adecvată, pentru un difuzor sau cască precum şi pentru un instrument, un microampermetru obişnuit prevăzut cu mai multe scări, un integrator pentru a media viteza de numărare şi un redresor metalic pentru alimentarea tranzistoarelor. Aşa cum se observă din figură tubul HC4 este alimentat de la un redresor cu tub electronic dar se poate folosi şi un redresor metalic.

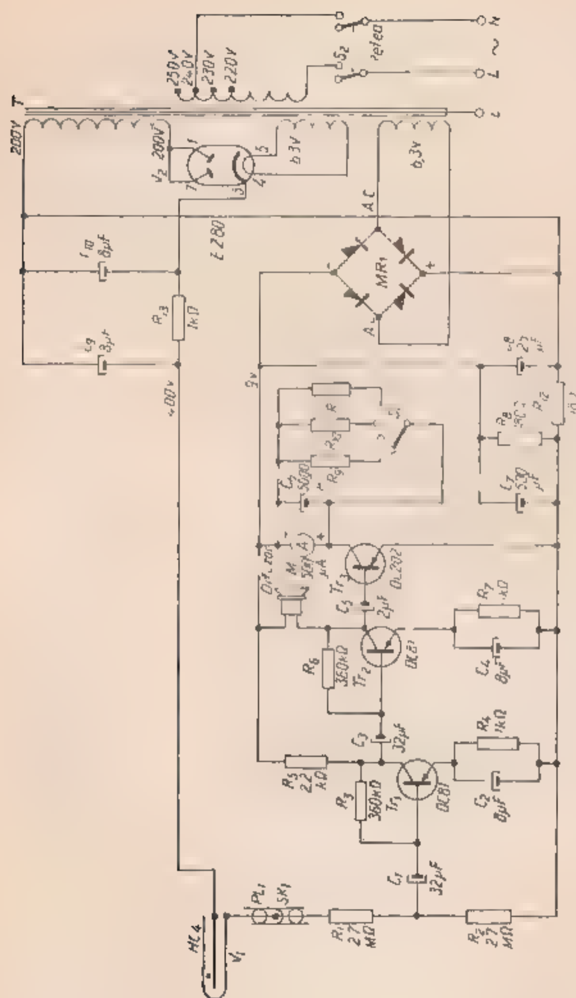


Fig. 55. Circuitul unui numărător cu tub Geiger Müller. Valorile lui R_9, R_{10} şi R_{11} se calculează pentru a obţine scările de 1 mA, 5 mA şi 10 mA cu formula $R_s = R_m/(M-1)$ unde R_s reprezintă valoarea rezistenţei de şuntare în ohmi, R_m rezistenţa instrumentului în ohmi iar M un factor de multiplicare (2, 10 respectiv 20).

Se poate produce electricitate pe scară largă cu ajutorul semiconductoarelor?

Perspectiva generării electricităţii fără intervenţia maşinilor cum ar fi turbinele sau alternatoarele reprezintă o problemă atractivă iar diferitele metode încercate la scară experimentală a inclus folosirea semiconductoarelor Anumite dispozitive, cum ar fi celulele solare, se află în stadiul experimental, iar cantitatea de electricitate obţinută de la o baterie este mică.

O încercare care promite mai mult este conversia în electricitate a căldurii obţinută dintr-un reactor nuclear. Oamenii de ştiinţă sovietici au obţinut succese cu un reactor experimental, în care căldura generată este transportată către un convertor termic — electric semiconductor. Convertorul, conţinînd elemente din aliaj de germaniu-siliciu, este localizat la suprafaţa reactorului. Pe o parte a elementelor se primeşte căldura iar pe cealaltă sînt răcite şi astfel se generează un curent electric. Rămîne de văzut dacă generarea pe scară largă prin această metodă va fi economică şi posibilă din punct de vedere tehnic.

7 Alte utilizări ale dispozitivelor semiconductoare

Ce alte utilizări ale tranzistoarelor mai există?

Tranzistoarele au importante aplicații în motoarele autovehiculelor, în cercetări spațiale și medicina. Tendința de automatizare a proiecției cinematografice implică folosirea dispozitivelor semiconductoare. Transformările din telefonia electronică vor depinde tot mai mult de folosirea dispozitivelor semiconductoare de diferite feluri; cablurilor telefonice, cum sînt cele submarine și care trebuie să aibă o viață cît mai lung li se asociază amplificatoare repetoare.

Cît de mult se pot folosi dispozitivele semiconductoare în autovehicule?

În afara aplicațiilor familiare și evidente din radiourile din automobil, dispozitivele semiconductoare au multe și posibile utilizări în automobilele însăși. Pînă acum, cel mai mult au beneficiat autovehiculele mai grele, dar este foarte probabil ca tranzistoarele și alte dispozitive vor avea o utilizare considerabilă și în automobile. Astfel de dezvoltări, în transportul rutier în întregime, sînt de o importanță tehnică și economică evidentă, ținînd seama de numărul extraordinar de mare al vehiculelor electrice ce se cer. Prin urmare este de o mare importanță să le revedem ceva mai detaliat.

Dispozitivele semiconductoare se folosesc în autovehicule în scopul îmbunătățirii performanțelor pentru soliditatea și siguranța sistemelor electrice ale acestora. În cele mai multe dintre vehiculele electrice, temperaturile întîlnite continuu sau ocazional sînt suficient de mari pentru a împiedica folosirea dispozitivelor cu germaniu. Prin urmare tranzistoarele cu siliciu, redresoarele cu siliciu precum și alte dispozitive ce pot lucra pînă la temperaturi de 200°C au o largă utilizare.

S-au obținut succese importante în ceea ce privește generatoarele electrice, sistemele de aprindere și control și există și diferite alte echipamente în care folosirea dispozitivelor semiconductoare va fi tot mai frecventă.

Generatoarele vehiculelor

Cu toate că generatoarele de curent alternativ sînt un articol important al autovehiculelor, generatoarele de curent continuu (dinamurile) sînt folosite de mult timp în automobile și multe vehicule grele. Ele folosesc perii care au nevoie de întrețineri și eventual înlocuire, și există un domeniu limitat al vitezelor motoarelor în care bateriile se pot încărca. Un dezavantaj cunoscut de proprietarii de automobile este faptul că bateria nu se reîncarcă cînd mașina nu merge — o problemă care devine tot mai obișnuită pe măsura creșterii densității traficului. În condițiile moderne evident că sistemele electrice mai vechi nu mai pot fi folosite în întregime.

O îmbunătățire importantă poate fi realizată prin utilizarea unui generator de curent alternativ (alternor) cu un redresor. Un alternor nu necesită întreținere în afara unui control cu totul ocazional; el poate fi mai mic, dispozitivele semiconductoare pot fi folosite în acest caz în

circuitele de ieşire (în locul redresoarelor metalice foarte grele care se foloseau înainte).

Cea mai recentă realizare o constituie alternorul trifazic la care se folosesc pentru redresare diode cu siliciu: de fapt diodele redresoare pot fi incorporate în însăşi alternor. Un astfel de echipament a început să apară la automobile, aducînd deci beneficiile unei greutăţi mici şi a încărcării în timpul repausului motorului.

În dispozitivele de comandă asociate, părţile mobile pot fi eliminate, astfel încît siguranţa în funcţionare creşte. În fig. 56 se arată un astfel de circuit. Acest circuit cuprinde două tranzistoare şi o diodă zenner. Funcţionarea sa este similară celui al regulatorului electromagnetic mult mai familiar la care curentul din bobina de excitaţie a alternatorului este variat pentru a menţine curentul generat între anumite valori bine precizate, dar aici

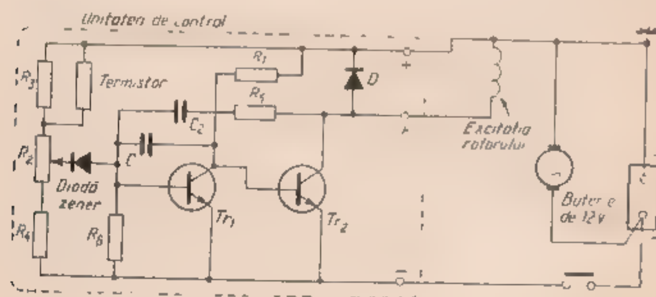


Fig. 56. Circuit de comandă folosind dispozitive semiconductoare.

comutaţia este asigurată de tranzistoare în locul contactelor vibratorii. O diodă zenner şi un potenţiometru asigură tensiunea de referinţă, înlocuind astfel bobina şi sistemul cu arc de tensionare.

Altă utilizare a diodei zenner

Dioda zenner poate fi utilizată într-un dispozitiv regulator simplu din sistemul electric alternativ de 12 V al unei motociclete. Dioda se conectează în paralel pe baterie şi acţionează ca o supapă de şuntare, permiţînd trecerea curentului redresat de la alternor conform stării de încărcare a bateriei. Pe măsură ce bateria se reîncarcă tensiunea sa creşte, cînd ea atinge aproximativ 14 V, dioda, pînă acum în stare blocată (rezistenţă mare), devine parţial conductoare şi reprezintă o cale de închidere pentru o parte din semnalul de ieşire al alternatorului.

Creşterile ulterioare ale tensiunii bateriei conduc la o creştere mai mare a conductivităţii diodei pînă cînd, la aproximativ 15 V (tensiunea de încărcare completă a bateriei), cea mai mare parte a ieşirii alternatorului este scurtată şi tensiunea pentru sarcină deschisă se stabilizează.

Dacă se aprinde o lampă, tensiunea sistemului scade sub 15 V; prin diodă circulă mai puţin curent iar echilibrul se modifică pentru a alimenta sarcina.

Dacă o sarcină mai mare aduce tensiunea sub 14 V dioda zener revine la starea sa de blocare şi întreg curentul de la ieşirea alternatorului se foloseşte pentru satisfacerea cerinţelor bateriei şi echipamentului.

Cum se foloseşte tranzistorul în sistemul de aprindere al automobilului?

Natura sistemului de aprindere convenţional este binecunoscută: componentele importante sînt bobina de inducţie şi întreruptorul din distribuitor. Întreruptorul trebuie să întrerupă un curent destul de mare cu o viteză de pînă la cîteva sute de ori pe secundă. Părţile mecanice presu-

pun o reglare periodică — parte din verificarea generală a mașinii — dacă se urmărește menținerea performanțelor mașinii.

Într-un sistem de aprindere electronic, întreruptorul este încă folosit dar are o sarcină mai ușoară. Așa cum se

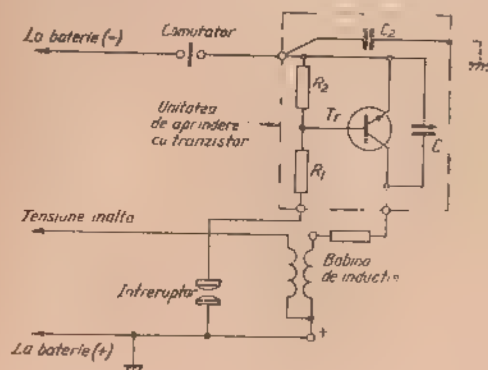


Fig 57. Tranzistor cu baza la masă folosit pentru comutarea curentului din primarul bobinei de aprindere.

arată în fig. 57, întreruptorul este conectat în circuitul din baza tranzistorului iar circuitul primarului bobinei de inducție este completat cu circuitul emitor-colector. Cu contactele închise, în circuitul bazei circulă un curent neinductiv, care comută tranzistorul în starea de conducție și permite astfel curentului din primar să circule prin bobină. Cînd contactele sînt deschise curentul din bază se întrerupe iar tranzistorul se blochează. O tensiune de valoare ridicată va apare la bornele secundarului bobinei.

Se consideră că întreținerea și reglarea contactelor sînt mai reduse datorită curentului neinductiv, relativ mic. Întrucît se elimină arcul electric, turația la mașinile mici este îmbunătățită. Și viteza se mărește.

Totuși, pentru automobile de performanțe ridicate s-a conceput un sistem de aprindere mult mai rafinat. Acesta este un montaj complet electronic din care au fost elimi

nate întreruptorul și cele mai multe din părțile mobile. În acest sistem cu piesele polare ale volantului se asociază un transductor electromagnetic celelalte componente fiind un amplificator cu tranzistoare, un generator de scîntei și un distribuitor de înaltă tensiune.

Ce alte utilizări mai are tranzistorul în automobile?

El mai poate fi utilizat în transmisii automate, controlul sistemelor de aer condiționat și sistemele de injecție. Există multe posibilități de folosire a tranzistoarelor și diodelor în echipamente pentru garaje. Ceasul tranzistorizat reprezintă o altă aplicație. Ceasuri de acest tip, proiectate să funcționez timp de un an cu ajutorul unei baterii uscate mici, se folosesc de cîtva timp în locuințe.

Cum funcționează dispozitivele sensibile la lumină în automobile?

Un exemplu recent îl constituie oglida retrovizoare antiorbitoare folosită în timpul nopții. Asemenea oglinzilor reglate manual aceasta este de tip prismatic. La acest nou model o fotocelulă, care detectează strălucirea vehiculelor din spate, este conectată la un ansamblu ce cuprinde trei tranzistoare. Curentul amplificat acționează un solenoid care la rîndul său mișcă oglinda.

Un alt dispozitiv folosește fotocelula pentru a comanda aprinderea luminilor laterale sau de parcare conform cu condițiile de lumină naturală. O altă aplicație posibilă, destul de dificilă și neexploatată încă, o constituie manevrarea automată a farurilor.

Cum se poate obține o tensiune înaltă de la bateria de automobile?

Sursa de înaltă tensiune se poate construi cu ușurință folosind un convertor tranzistorizat. În fig. 58 se reprezintă un astfel de convertor. El este proiectat să producă la ieșire o tensiune continuă de 300 V și un curent pînă

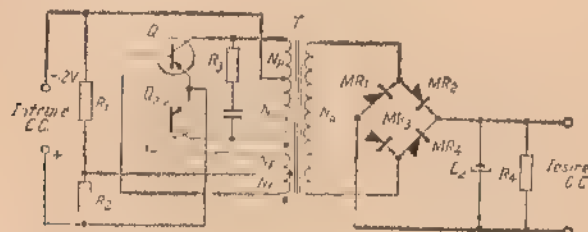


Fig. 58. Convertor c.c./c.c. de la 12 V la 300 V.

Q_1 NKT 402	R_1 25 Ω toleranța rezistențelor 10%
Q_2 NKT 402	R_2 1 Ω
C_1 4 μF	R_3 7,5 Ω
C_2 32 μF (350 V)	R_4 22 KΩ (2 W)

la 130 mA primind la intrare o tensiune continuă de 12 V. Ieșirea unui oscilator push-pull de undă patratică de 12 V se cuplează prin transformator pentru a obține o tensiune de formată patrată de 300 V. Aceasta este redresată și filtrată printr-un capacitor electrolitic C_2.

Se pot folosi tranzistoarele în căile ferate?

Una din aplicații o constituie sistemul de control automat al trenului, în care semnalele trimise din diferite puncte ale liniei pot purta informații despre trecerea trenului. În acest echipament se folosește antimoniura de indiu. Această substanță prezintă efectul Hall: dacă în apropierea sa se aduce un cîmp magnetic în timp ce trece un curent electric, apare o tensiune electrică. O altă aplicație o constituie semnalizarea; scopul acestei aplicații este înlocuirea metodelor electro-mecanice cu metode cu calculatoare.

Cît de mult se folosesc semiconductoarele în cercetarea spațială?

Unele din cele mai avansate dispozitive semiconductoare sînt folosite în sateliții artificiali. Cercetările spațiale, cum ar fi studiul ionosferei, implică o varietate largă de instrumente, iar metodele actuale sînt atît de avansate încît o sumă mare de instrumente pot fi cuprinse într-un conteiner mic. Echipamentul folosește mult sute de tranzistoare, precum și celulele solare pentru încărcarea bateriilor. Un satelit de comunicații este foarte complex fiind proiectat să recepționeze, rețină, amplifice și retransmită semnalele.

Componentele și circuitele miniaturizate sînt folosite în spectrometre, numărătoare pentru măsurarea dimensiunilor particulelor, telemetre, magnetofoane și multe alte aparate.

Calitatea componentelor și construcția lor trebuie să fie astfel încît certitudinea performanțelor să poată fi asigurată în condiții dificile, cum ar fi spre exemplu frecvențele de vibrație mari, variațiile mari de temperatură și accelerațiile ce nu se întîlnesc în alte aplicații. Circuitele microminiaturizate, menționate în alte lucrări, au o contribuție hotărîtoare.

Sateliții contribuie la prevederea vremii, și multe succese sînt posibile acolo unde se poate asigura o cooperare internațională pentru înregistrarea și interpretarea datelor. Metodele simple din prezent se spune că nu sînt adecvate. Succesele ar depinde de dezvoltările tehnicii calculatoarelor și tehnologiei compactizării.

O cale ar implica sateliți, care să culeagă imagini succesive și transmise stațiilor de la sol. O altă posibilitate o reprezintă dezvoltarea balizelor meteorologice automate ancorate în oceane; acestea ar transmite datele spre sateliți, care ar prezenta imagini ale configurației norilor. Toate datele astfel obținute ar fi utilizate de sateliți pentru cunoașterea vremii, care ar fi transmisă spre pămînt în ajutorul tuturor țărilor.

În acest sistem fiecare satelit ar cuprinde un calculator foarte mic pentru analiza datelor și în consecință pentru previziuni. Se crede că ramurile noi ale tehnologiei ar putea produce în prezent tipurile speciale de circuite microminiaturizate și dispozitivele semiconductoare necesare. Ar fi necesară o sursă de energie îmbunătățită, posibil un generator nuclear.

Se folosesc tranzistoarele în medicină?

Posibilitățile de folosire a tranzistoarelor în medicină sînt de curînd explorate, dar există deja realizări notabile.

Există a varietate de instrumente atît pentru diagnosticare cît și pentru cercetare. Acesta în mod obișnuit ajută la studiul comportării sau stării organismului, spre exemplu obstetricienii folosesc instrumente miniaturizate pentru observarea bătăilor inimii fătului. Instrumentele electronice sînt folosite în sălile de operație pentru măsurarea presiunii sîngelui, respirației, temperaturii și alte măsurări fundamentale.

Dispozitivele fotoelectrice sînt importante, spre exemplu, în analizeze biochimice. O metodă de măsurare a bătăilor inimii folosește un tranzistor și o sursă de lumină atașată pe un lob al urechii.

Contribuția principală a dispozitivelor semiconductoare se află în miniaturizarea echipamentelor. Instrumentul de măsură trebuie purtat de om și prin urmare dimensiunile mici și greutatea sînt esențiale. Probabil cel mai spectaculos exemplu îl constituie pilula radio care conține, într-o capsulă lungă de 2 cm și 1 cm diametru, un oscilator, antenă, tranzistor, bateria precum și alte componente. Această pilulă se înghite și transmite informații din interiorul organismului privitoare la temperatură, aciditate, presiune și alți factori. Frecvența radiației poate varia în acord cu schimbarea condițiilor din interiorul pacientului.

Un alt exemplu de miniaturizare îl constituie dispozitivul folosit pentru anumite afecțiuni cardiace. Un receptor tranzistorizat poate fi inserat în mușchii inimii unui pacient a cărui inimă bate neregulat. Acest simulator electronic este comandat de un emițător tranzistorizat, purtat în exterior. Se impune o înaltă siguranță de funcționare deoarece este necesar ca acest dispozitiv să fie lăsat în această poziție pentru mulți ani.

Amplificatoarele fiziologice proiectate pentru controlul electric al pacienților, sînt mai folositoare dacă sînt alimentate de la baterie și prin urmare sînt mai ușor de purtat. Tranzistoarele au permis dezvoltări substanțiale în proiectarea acestor instrumente. De asemenea, circuitul cu tensiune mică este mai sigur. Există totuși dificultatea că un astfel de amplificator are în mod obișnuit o impedanță de intrare mică, iar impedanța sursei (pacientul) în condiți normale de lucru este mare. Tranzistorul cu efect de cîmp va asigura condiția de intrare impusă, și prin urmare s-au creat echipamente ce folosesc o combinație hibridă de tranzistoare.

Bliț tranzistorizat

Tranzistoarele pot asigura energia unui bliț electronic de tip profesional. Circuitul din figura 59 este alimentat de la o baterie de 6 V și este proiectat pentru a realiza o energie de 40 J la o tensiune de 500 V.

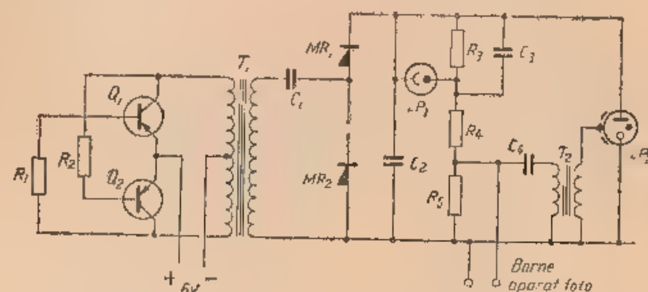


Fig. 59. Bliț de 40 J la 6 V:

Q_1 NKT 404	C_1 10 μF(500 V)	R_1 22 Ω (1 W)
Q_2 NKT 404	C_2 500 μF(500 V)	R_2 22 Ω (1 W)
MR 1 dublor de tensiune	C_3 0,05 μF	R_3 1,5 MΩ
MR 2 500 V	C_4 0,25 μF	R_4 3,3 MΩ
		R_5 3,3 MΩ

Tensiunea de 500 V este atinsă în aproximativ 40 s. Cînd blițul este încărcat se aprinde lamp cu neon. Sursa de alimentare este formată dintr-un convertor push-pull auto-oscilant care produce la ieșire 250 V și ridicată apoi la 500 V (printr-un circuit de dublare a tensiunii).

Acest circuit este adecvat pentru orice aparat de fotografiat prevăzut cu contacte potrivite. Cînd se închid contactele, capacitatea C_4 se descarcă prin transformatorul T2; acesta induce o tensiune mare în secundar care aprinde lampa. Energia înmagazinată în C_2 se eliberează prin lampă realizînd o iluminare intensă.

Ce fel de baterii se folosesc în echipamentele miniaturizate?

Adesea se impune o anumită proiectare a bateriilor, care trebuie să îndeplinească cerințe speciale, cum ar fi spre exemplu în echipamentele militare, care lucrează în condiții deosebite. Pentru tipurile mai familiare de produse tranzistorizate mici (spre exemplu aparate de auzit) o contribuție deosebită o au celulele cu oxid de argint.

Acest tip de celule au o impedanță mică și uniformă, caracteristică bună la temperaturi mici și o caracteristică de descărcare foarte liniară, adică, tensiunea este constantă în timp. Unele versiuni ale celulei pot cîntări numai o mică fracțiune dintr-o uncie (28 gr). Această celulă este foarte bună pentru alimentarea tranzistoarelor cu siliciu.

De asemenea, tensiunea la bornele acestui tip de celulă este mai mare decît la celula cu mercur, un alt tip de baterie miniatură bine cunoscut. Tensiunea în gol este de 1,6 V; pentru un consum tipic de curent această tensiune scade la 1,5 V comparativ cu 1,3 V pentru o celulă cu mercur în condiții similare.

Celula cu oxid de argint este formată dintr-un catod de oxid de argint depolarizant, un anod de zinc cu suprafața mare și un electrolit alcalin puternic. La aparatele pentru auz celula are ca electrolit hidroxidul de potasiu, care asigură o densitate de putere maximă la curenți mici. La celulele extrem de mici folosite la ceasuri, pentru a asigura un termen lung de funcționare în condiții bune, se folosește hidroxidul de sodiu.

Pentru echipamentele miniatură se folosesc de asemenea celulele cu indiu-bismut. În sateliții spațiali se folosesc uneori baterii cu cadmiu-nichel care au capacitatea de reîncărcare de la bateriile solare. Acest tip de baterii, se construiesc adesea sub formă miniaturizată și pot asi-

gura curenți mari avînd reputația unor performanțe foarte bune la temperaturi foarte mici.

Receptoarele de televiziune necesită de asemenea baterii. Există baterii de 12 V care cu un circuit special de stabilizare pot produce un curent de 0,25 A pentru 40 ore în cazul în care se folosesc aproximativ 2 ore pe zi.

Tester pentru tranzistoare

Montajul din fig. 60 poate fi folosit pentru o bună verificare a amplificării tranzistoarelor.

Cu tranzistorul ce urmează a fi măsurat conectat și cu C_1 închis, instrumentul va indica curentul de colector

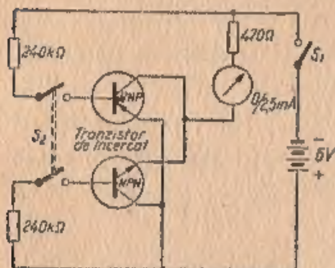


Fig. 60. Circuit pentru verificarea amplificării tranzistoarelor *pnp* și *npn*.

rezidual. Apăsînd pe comutatorul S_2 se aduce un curent de 0,25 μA pe baza tranzistorului; prin calibrarea instrumentului astfel încît la capătul scării să avem o amplificare de 100 atunci amplificarea tranzistorului poate fi citită direct.

8 Depanarea echipamentelor tranzistorizate

r.tv. r.tv. r.tv. r.tv. r.tv.

Care sînt cele mai frecvente defecte în echipamentele tranzistorizate?

Tranzistoarele sînt robuste și dacă lucrează în condiții corecte, ele însele sînt rare ori, cauza unor defecte în echipamentele tranzistorizate cu toate că și ele pot determina defecte prin întreruperea unor componente asociate. În echipamentele electronice mai frecvente decît defectele electronice sînt defectele mecanice cum ar fi contactele de comutație nesatisfăcătoare, contactelor cu arc „obosit" din jac, potențiometrele de volum zgomotoase, componentele desprinse din cablaj, întreruperile conductoarelor de antenă și antenele cu ferită fisurată. Cele mai răspîndite defecte electronice sînt din partea bateriei, scurgerilor capacitoarelor. Întreruperea funcționării echipamentelor alimentate de la baterie poate fi determinată în primul rînd de baterie.

Există vreo metodă de verificare a bateriei?

O metodă utilă este mai întîi măsurarea tensiunii la bornele sale V_1 apoi introducerea între borne a unui rezistor de 100 Ω și se măsoară din nou tensiunea V_2. Curentul I în mA absorbit de la baterie este $10 \times V_2$ iar rezistența internă a bateriei poate fi calculată cu formula următoare:

$$\frac{V_1 - V_2}{I} \times 1\,000 = \text{rezistență internă a bateriei } (\Omega).$$

O baterie bună va avea o rezistență internă de aproximativ 10 Ω.

O baterie cu o rezistență internă pînă la 50 Ω poate fi bună pentru o rezistență internă de valoare mai mare ea trebuie înlocuită.

Cum se procedează după verificarea bateriei?

Se recomandă mai întîi o verificare atentă a defectelor mecanice sau contactelor reci. Dacă totul este în ordine, se izolează etajul defect printr-o încercare sistematică de la ieșire spre intrare, folosind un generator de semnal de testare nu prea puternic (preferabil cu un rezistor de 47 kΩ în serie pentru limitarea semnalului) și un voltmetru cu rezistență mare pentru verificarea tensiunilor bateriei, colectorului, emitorului etc. Curentul de emitor, și deci curentul de colector care este aproximativ același, poate fi aflat cu ajutorul legii lui Ohm împărțind tensiunea la bornele lui R_1 (fig. 61) prin rezistența R_1. Să zicem că tensiunea este de 0,5 V sau R_1 este de 100 Ω, atunci curentul de emitor va fi 0,5/100 A sau 5 mA.

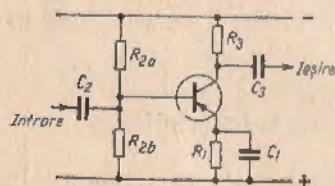


Fig. 61. Amplificator pentru depanare.

În fig. 61 se reprezintă un etaj amplificator cu tranzistor tipic. În timpul verificării, curentul de colector poate avea valoarea zero, mai mică sau mai mare decît cea normală.

Dacă este zero, tensiunea emitorului va fi zero iar tensiunea colectorului va fi egală cu tensiunea de alimentare. Dacă tensiunea bazei este foarte mică sau zero, fie că R_{2a} este desfăcută fie R_{2b} este scurtcircuitată. Dacă

tensiunea bazei este corectă atunci R_1 poate fi desfăcută. Dacă R_3 este desfăcută tensiunile de emitor și colector vor fi mici.

Dacă curentul de colector este mic, tensiunea emitor-bază va fi de asemenea mică întrucît: (*a*) — tensiunea de bază este mică pentrucă R_{2a} este mare sau R_{2b} este mică, (*b*) — tensiunea de emitor este mare deoarece R_1 este mare sau în circuit deschis.

Dacă curentul de colector este mare, tensiunea emitor — bază va fi mare întrucît: (*a*) — tensiunea bazei este mare deoarece R_{2a} este mică, R_{2b} mare sau C_2 are pierderi; (*b*) — tensiunea de emitor este mică deoarece R_1 este mică sau C_1 are pierderi.

Ce precauții trebuie luate la depanarea echipamentelor tranzistorizate?

Să nu se efectueze niciodată măsurători asupra rezistențelor sau încercarea continuității circuitelor cu un ohmmetru ce are la ieșire o tensiune mai mare de 1,5 V; ciocanul de lipit și toate aparatele de testare trebuie conectate la o masă comună bună; sursa de alimentare trebuie oprită sau deconectată înainte de înlocuirea oricărui componente. Înainte de înlocuirea unui tranzistor trebuie verificate componentele asociate acestuia.

Sursa de alimentare trebuie oprită sau deconectată înainte de a face lipituri și trebuie totdeauna folosit un radiator împreună cu ciocanul de lipit. Trebuie verificate conexiunile tranzistorului înainte de conectarea lui în circuit, și să nu se scurtcircuiteze terminalele tranzistorului; aceasta se poate întîmpla cînd se folosește șurubelnița sau capetele de măsură. Cel mai important este să se observe polaritatea sursei în momentul conec-

tării. Tranzistorul nu trebuie lipit sub 1,5 mm față de cablaj. Deoarece cele mai multe tranzistoare sînt sensibile la lumină, sînt protejate printr-un strat opac care nu trebuie deteriorat.

Un tranzistor defect poate fi foarte fierbinte și deci inutilizabil.

Nu folosiți numai tetraclorură de carbon sau tricloretilenă pentru curățarea contactelor comutatoarelor sau potențiometrelor deoarece acești agenți de curățire sînt corozivi.

Datorită metodei folosite — întrebări cu răspunsuri — lucrarea este foarte utilă pentru toți cei ce vor să se inițieze în domeniul dispozitivelor semiconductoare. Sînt tratate într-un mod concis trăsăturile caracteristice ale tranzistoarelor precum și ale altor dispozitive ce utilizează materiale semiconductoare. În continuare sînt evidențiate — adeseori prin exemple practice — o mare parte din aplicațiile acestor dispozitive atît în echipamente domestice cît și în cele industriale.



Lei 5